



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN EL CASERIO EL TOPO, PARROQUIA RÍO
NEGRO, CANTÓN BAÑOS DE AGUA SANTA”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: MARTHA FABIOLA QUINDIGALLE QUINDIGALLE
TUTORA: ING. MÓNICA ANDRADE

Riobamba – Ecuador
2015

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal de Tesis certifica que: el presente trabajo de titulación **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CASERIO EL TOPO, PARROQUIA RÍO NEGRO, CANTÓN BAÑOS DE AGUA SANTA”** de responsabilidad de la señorita Martha Fabiola Quindigalle Quindigalle ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada así su presentación.

Ing. Mónica Andrade
DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN

Ing. Hugo Calderón
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DOCUMENTALISTA
SISBIB ESPOCH

“Yo, Martha Fabiola Quindigalle Quindigalle, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

MARTHA FABIOLA QUINDIGALLE QUINDIGALLE

DEDICATORIA

El presente trabajo dedico de forma muy especial a la Sra. Martha Magdalena Villamar Gómez, a quien considero como mi madre, protectora, amiga incondicional, que forjó un camino lleno esfuerzo, dedicación, fe y consideraciones para la culminación de mi carrera universitaria.

A mis padres, hermanos y mis cuñados que de una u otra forma me apoyaron en el lugar y en el momento preciso.

Martha

AGRADECIMIENTO

A la Sra. Martha Villamar por su inmenso apoyo en cada desafío de mi vida, por dar una palabra de aliento cuando pensé en el desmayo.

A mis padres y mi familia quienes con su apoyo moral hicieron que mi esfuerzo académico sea cada día más valiosa.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Baños de Agua Santa en conjunto con la Dirección de Gestión de Saneamiento Ambiental por abrir las puertas a este proyecto de investigación y de igual forma al Ing. Marco Lozano por la atención brindada durante el tiempo de investigación.

A la Ing. Mónica Andrade y el Ing. Hugo Calderón por su constante contribución y asesoría académica y de conocimiento para la culminación de este proyecto.

A mis profesores que hicieron su labor de docente en mí como estudiante, persona mujer y amiga de todos quienes me rodean.

A mis amigos más queridos que siempre estuvieron en los malos y buenos momentos durante mi vida politécnica.

Martha

CONTENIDO

RESUMEN.....	XIX
SUMMARY	XX
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	MARCO TEÓRICO	5
1.1	Aguas residuales.....	5
1.2	Tipo de aguas residuales.....	5
1.3	Composición de aguas residuales.....	6
1.4	Caracterización de aguas residuales.....	6
1.4.1	<i>Características físicas.....</i>	6
1.4.1.1	<i>Sólidos.....</i>	<i>6</i>
1.4.1.2	<i>Turbiedad.....</i>	<i>7</i>
1.4.1.3	<i>Color.....</i>	<i>7</i>
1.4.1.4	<i>Olor.....</i>	<i>8</i>
1.4.1.5	<i>Temperatura.....</i>	<i>8</i>
1.4.2	<i>Características químicas inorgánicas.....</i>	9
1.4.2.1	<i>pH.....</i>	<i>9</i>
1.4.2.2	<i>Nitrógeno y Fósforo.....</i>	<i>9</i>
1.4.2.3	<i>Alcalinidad.....</i>	<i>10</i>
1.4.2.4	<i>Cloruros.....</i>	<i>10</i>
1.4.2.5	<i>Azufre.....</i>	<i>11</i>
1.4.3	<i>Características químicas orgánicas.....</i>	11
1.4.3.1	<i>Demanda bioquímica de oxígeno DBO₅.....</i>	<i>11</i>
1.4.3.2	<i>Demanda química de oxígeno DQO.....</i>	<i>11</i>
1.4.3.3	<i>Carbono orgánico total COT.....</i>	<i>12</i>
1.4.3.4	<i>Grasas y Aceites.....</i>	<i>13</i>
1.4.3.5	<i>Tensoactivos.....</i>	<i>13</i>
1.4.4	<i>Características biológicas.....</i>	15
1.4.4.1	<i>Bacterias.....</i>	<i>15</i>
1.4.4.2	<i>Parásitos.....</i>	<i>15</i>
1.4.4.3	<i>Virus.....</i>	<i>16</i>
1.5	Muestreo de aguas residuales.....	16
1.5.1	<i>Método de recolección de muestras.....</i>	16

1.5.2	<i>Toma de muestras.....</i>	16
1.5.3	<i>Tipos de muestras</i>	17
1.6	<i>Población de diseño</i>	18
1.7	<i>Medición de caudales</i>	18
1.7.1	<i>Método de medición de caudales</i>	18
1.7.1.1	<i>Método volumétrico</i>	18
1.7.1.2	<i>Método de trayectoria.....</i>	19
1.7.1.3	<i>Método del flotador.....</i>	19
1.7.1.4	<i>Método de vertedero</i>	20
1.7.2	<i>Determinación del Caudal.....</i>	22
1.8	<i>Sistema de tratamiento de aguas residuales</i>	25
1.8.1	<i>Canal rectangular-vertedero.....</i>	25
1.8.2	<i>Desbaste</i>	28
1.8.3	<i>Trampa de grasa.....</i>	30
1.8.4	<i>Humedales</i>	31
1.8.4.1	<i>Humedales naturales.....</i>	32
1.8.4.2	<i>Humedales artificiales</i>	32
1.8.4.2.1	<i>Principales actores del humedal artificial.....</i>	33
1.8.4.2.2	<i>Tipos de humedales artificiales.....</i>	38
1.8.4.2.3	<i>Comparación entre los diferentes flujos del humedal artificial.....</i>	45
1.8.4.2.4	<i>Ventajas y desventajas de los humedales artificiales</i>	46
1.8.4.2.5	<i>Mecanismos de remoción y transformación de los constituyentes</i>	47
1.8.5	<i>Canal de Parshall.....</i>	50
1.8.5.1	<i>Tipo de descarga.....</i>	51
1.8.5.2	<i>Puntos de medición</i>	52
1.8.5.3	<i>Tipo de material</i>	53
1.8.5.4	<i>Ventajas y desventajas</i>	53
1.8.6	<i>Coagulación.....</i>	58
1.8.6.1	<i>Coagulantes</i>	58
1.8.6.2	<i>Ventajas y Desventajas</i>	60
1.8.7	<i>Floculación.....</i>	61
1.8.7.1	<i>Clasificación de los floculadores</i>	62
1.8.7.1.1	<i>Floculadores mecánicos</i>	62
1.8.7.1.2	<i>Floculadores hidráulicos</i>	63
1.8.8	<i>Sedimentación</i>	67
1.8.8.1	<i>Sedimentadores</i>	68
1.8.9	<i>Lecho de secado.....</i>	72

1.8.9.1	Geometría.....	72
1.8.9.2	Mantenimiento de lecho	72

CAPÍTULO II

2	PARTE EXPERIMENTAL.....	75
2.1	Lugar de investigación.....	75
2.1.1	Localización geográfica	75
2.1.1.1	Macrolocalización.....	75
2.1.1.2	Microlocalización	76
2.2	Metodología	81
2.2.1	Reconocimiento del lugar de investigación.....	81
2.2.2	Periodo de diseño	81
2.2.3	Población actual.....	81
2.2.4	Datos experimentales	81
2.2.4.1	Selección de la muestra.....	81
2.2.4.2	Caracterización de aguas residuales	82
2.2.4.3	Pruebas de tratabilidad.....	83
2.2.4.4	Monitoreo del Caudal	86

CAPÍTULO III

3	CÁLCULOS Y RESULTADOS.....	91
3.1	Cálculos	91
3.1.1	Cálculo de la población futura	91
3.1.2	Cálculos del caudal	91
3.1.3	Dimensionamiento de un canal rectangular-vertedero	93
3.1.4	Dimensionamiento de rejillas de limpieza manual	95
3.1.5	Dimensionamiento del humedal subsuperficial de flujo horizontal.....	98
3.1.6	Dimensionamiento del Canal de Parshall.....	102
3.1.7	Cálculo de la Dosificación del Policloruro de Aluminio (PAC).....	109
3.1.8	Dimensionamiento de un floculador hidráulico de flujo horizontal.....	110
3.1.9	Dimensionamiento de un sedimentador	115
3.1.10	Dimensionamiento de un lecho de secado.....	122
3.2	Resultados	126
3.2.1	Resultados de la población futura y caudales	126
3.2.2	Resultado de las dimensiones espaciales del Sistema de Tratamiento	126
3.3	Rendimiento.....	129
3.4	Eficiencia del humedal artificial	131

3.4.1	<i>Verificación del cumplimiento de la norma</i>	132
3.5	Análisis	133
3.6	Presupuesto	135
	CONCLUSIONES	138
	RECOMENDACIONES	139
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

H_c	Altura crítica
H_u	Altura de agua en la unidad
h₃	Altura de la sección de salida del canal Parshall
h₂	Altura del resalto
h₁	Altura antes del resalto
H_o	Altura máxima en la sección de medición
b	Ancho del canal
a	Ancho del canal del floculador
B_f	Ancho del floculador
C	Ancho de la salida del canal de Parshall
D`	Ancho en la sección de medición (canal de Parshall)
D	Ancho en sección convergente
b_s	Ancho del sedimentador
b_{ac}	Ancho de útil de la lámina A-C
W	Ancho de la garganta del canal Parshall
F_H	Ancho del humedal
A_F	Área del canal del Floculador
A	Área del canal
A_{LS}	Área del lecho de secado
A_s	Área del sedimentador
A_{ST}	Área de la sección transversal del lecho del humedal
A_{SH}	Área superficial del humedal
A_o	Área del orificio
K	Coefficiente que depende el ancho de la garganta
B, k	Coefficiente de pérdida de carga
m	Constante
K_s	Constante de primer orden
COT	Carbono orgánico total
E_o	Carga hidráulica
q	Caudal específico
Q_{min.horario}	Caudal mínimo horario
Q_{max.d}	Caudal máximo de diseño
Co	DBO del afluente
C	DBO del efluente

DBO₅	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
Øs1	Espacio entre filas de orificios
Øs2	Espacio entre las columnas de orificios
e	Espesor de barras
hs	Factor de seguridad
g	Gravedad
G	Gradiente de velocidad
HAFL	Humedal artificial de flujo libre
HAFHS	Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial
HAFS	Humedal artificial de flujo subsuperficial
HAFVS	Humedal artificial de flujo vertical subsuperficial
LB	Longitud de las barras
L_C	Longitud del canal de floculación
L	Longitud del floculador
L_H	Longitud del humedal
L_{LS}	Longitud del lecho de secado
K¹	Longitud de las paredes de la sección divergente
L_R	Longitud del resalto
G'	Longitud de sección divergente
L_s	Longitud del sedimentador
L_{sum.r}	Longitud sumergida de la rejilla
Msd	Masa de los sólidos
N_{max.a}	Nivel máximo de agua
F₁	Número de Froude
G₁	Número de Camp
N_B	Número de barras
N_o	Número de orificios
H_{PD}	Altura de la pantalla difusora
θ	Pendiente o ángulo
P	Perímetro mojado
hc	Pérdida de carga en la rejilla
h_{PR}	Pérdida de carga en el resalto
hc₁	Pérdida de carga en las vueltas
hc_T	Pérdida de carga total
H	Profundidad total del canal
N	Profundidad de la cubeta

h_p	Profundidad del humedal
HR	Radio hidráulico
n	Rugosidad del material
S_p	Separación entre barras
ST	Sólidos Totales
T_2	Temperatura del agua residual
T_{DL}	Tiempo para desalojar el lodo
t	Tiempo mezcla en el resalto
T_{HR}	Tiempo de retención del humedal artificial
h	Tirante del agua
v_1	Velocidad antes del resalto
v	Velocidad de aproximación
v_0	Velocidad en la sección de medición (canal de Parshall)
v_2	Velocidad en el resalto
v_3	Velocidad en la sección de salida
v_s	Velocidad de sedimentación
v_a	Velocidad de arrastre
v_{sc}	Velocidad de sedimentación de la partícula crítica
ν	Viscosidad cinemática
V_{DL}	Volumen diario de lodos digeridos
V_{EL}	Volumen de lodos a extraerse
V_s	Volumen de sedimentación
V_{TL}	Volumen del tanque para lodo

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Revisión de la capacidad de conducción de los canales revestidos	26
Tabla 2-1	Condiciones para determinar el borde libre de un canal	26
Tabla 3-1	Coeficiente de rugosidad de Manning en canales abiertos con revestimiento....	27
Tabla 4-1	Condiciones de diseño de rejillas de limpieza manual y mecánica	29
Tabla 5-1	Coeficiente de pérdida para rejillas.....	30
Tabla 6-1	Características más comunes de las plantas emergentes usadas en los humedales artificiales	37
Tabla 7-1	Características usuales del medio para los HAFHS.....	41
Tabla 8-1	Condiciones para las tuberías de entrada y salida.....	43
Tabla 9-1	Profundidad de las raíces de la vegetación emergente en los humedales de flujo horizontal subsuperficial	44
Tabla 10-1	Ecuaciones aplicadas para los humedales artificiales en relación a la dirección del flujo	49
Tabla 11-1	Valor de grado de sumersión	52
Tabla 12-1	Determinación del ancho W de la Parshall en función del caudal	54
Tabla 13-1	Dimensiones estandarizados del canal de Parshall	55
Tabla 14-1	Criterios de diseño para un floculador hidráulico de flujo horizontal	64
Tabla 15-1	Dimensiones específicas para cada tipo de pantalla	64
Tabla 16-1	Número de intensidad	65
Tabla 17-1	Tiempo de retención para sedimentadores.....	69
Tabla 18-1	Tiempo requerido para digestión del lodo	74
Tabla 19-2	Muestreo de aguas residual en condiciones críticas de lluvia y calor.....	82
Tabla 1-2	Análisis físico - químico y microbiológico del agua residual del Caserío El Topo en condiciones críticas de calor.....	82
Tabla 2-2	Análisis físico - químico y microbiológico del agua residual del Caserío El Topo en condiciones críticas de lluvia.....	83
Tabla 3-2	Análisis físico - químico y microbiológico del agua residual del Caserío El Topo en condiciones críticas de lluvia.....	83
Tabla 4-2	Parámetros para evaluar el índice de biodegradabilidad.....	84
Tabla 5-2	Tratabilidad del DBO y DQO con vegetación emergente	85
Tabla 6-2	Tratabilidad con coagulantes para la remoción de detergentes.....	85
Tabla 7-2	Resultados de los parámetros luego de la tratabilidad con la trampa de grasa y humedal artificial	86

Tabla 8-2	Medición del caudal del día lunes.....	86
Tabla 9-2	Medición del caudal del día martes	87
Tabla 10-2	Medición del caudal del día miércoles.....	87
Tabla 11-2	Medición del caudal del día jueves.....	88
Tabla 12-2	Medición del caudal del día viernes.....	88
Tabla 13-2	Medición del caudal del día sábado	89
Tabla 14-2	Medición del caudal del día domingo	89
Tabla 15-2	Caudal semanal	90
Tabla 16-2	Caudal horario.....	90
Tabla 1-3	Datos para el cálculo del sedimentador	115
Tabla 2-3	Resultados de la población futura y caudales	126
Tabla 3-3	Resultados del dimensionamiento del canal	126
Tabla 4-3	Resultados del dimensionamiento de la rejilla.....	126
Tabla 5-3	Resultados del dimensionamiento del humedal artificial	127
Tabla 6-3	Resultados del dimensionamiento de canal de Parshall.....	127
Tabla 7-3	Resultados del dimensionamiento del floculador	128
Tabla 8-3	Resultados del dimensionamiento del sedimentador	128
Tabla 9-3	Resultados del dimensionamiento del lecho de secado	129
Tabla 10-3	Verificación del cumplimiento de la norma.....	133
Tabla 11-3	Presupuesto para el Sistema de Tratamiento de aguas residuales.....	135

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1-1	Definiciones para sólidos encontrados en el agua residual.....	6
Cuadro 2-1	Recipientes para la toma de muestra	17
Cuadro 3-1	Criterios de diseño de una trampa de grasa	31
Cuadro 4-1	Características del medio granular según su tratamiento.....	45
Cuadro 5-1	Comparación entre los diferentes flujos del humedal.....	45
Cuadro 6-1	Funciones específicas de los humedales artificiales	46
Cuadro 7-1	Ventajas y desventajas para la implementación de un humedal artificial	46
Cuadro 8-1	Las principales ventajas y desventajas para implementar un canal de Parshall	53
Cuadro 9-1	Las ventajas y desventajas de los coagulantes más usados en un sistema de tratamiento de aguas residuales.....	60
Cuadro 1-2	Localización geográfica del Caserío el Topo	75
Cuadro 2-2	Cultivo del área.....	79
Cuadro 3-2	Cobertura Vegetal.....	79
Cuadro 4-2	Aves del área	80
Cuadro 5-2	Otras especies del área.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Método volumétrico	19
Figura 2-1	Método de trayectoria	19
Figura 3-1	Método del flotador	20
Figura 4-1	Vertedero rectangular	21
Figura 5-1	Vertedero triangular	21
Figura 6-1	Vertedero trapezoidal	21
Figura 7-1	Vertedero Parshall	22
Figura 8-1	Geometría de la sección transversal para canales abiertos	25
Figura 9-1	Canales rectangulares revestidos	26
Figura 10-1	Diferentes formas de rejillas	30
Figura 11-1	Trampa de grasa	31
Figura 12-1	Scirpus Riparius	34
Figura 13-1	Scirpus effusus var. Spiralis	34
Figura 14-1	Scirpus effusus var. Spiralis	35
Figura 15-1	Typha latifolia	35
Figura 16-1	Typha domingensis	36
Figura 17-1	Phragmites australis	36
Figura 18-1	Phragmites communis	37
Figura 19-1	Jacinto de agua	38
Figura 20-1	Humedal artificial de flujo libre	39
Figura 21-1	Humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial	40
Figura 22-1	Geomembrana impermeable	41
Figura 23-1	Características de una arqueta	42
Figura 24-1	Humedales artificiales de flujo vertical subsuperficial	44
Figura 25-1	Mecanismos de remoción en los humedales artificiales	47
Figura 26-1	Canal de Parshall	50
Figura 27-1	Paredes verticales del canal de Parshall	51
Figura 28-1	Los factores K, m para el dimensionamiento del canal de Parshall	55
Figura 29-1	Floculadores Hidráulicos	64
Figura 30-1	Lecho de secado	73
Figura 1-2	Localización del Caserío El Topo	75
Figura 2-2	Vista topográfica del Caserío El Topo, cantón Baños de Agua Santa, provincia de Tungurahua	76

Figura 3-2	Microlocalización del Caserío El Topo.....	77
Figura 1-3	Esquema del canal de llegada.....	94
Figura 2-3	Canal diseñado	95
Figura 3-3	Rejillas diseñado	98
Figura 4-3	Humedal Artificial FHS diseñado	101
Figura 5-3	Canal de Parshall diseñado.....	108
Figura 6-3	Floculador diseñado	115
Figura 7-3	Pantalla difusora diseñado.....	118
Figura 8-3	Sedimentador diseñado	122
Figura 9-3	Lecho de secado diseñado	125
Figura 10-3	Planta funcional.....	135

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos A.	Reconocimiento dnexoel lugar
Anexos B.	Punto de descarga del agua residual
Anexos C.	Vegetación usada en el humedal artificial
Anexos D.	Pruebas de tratabilidad con el humedal artificial
Anexos E.	Tratabilidad con Trampa de Grasa
Anexos F.	Agua residual antes y después de la tratabilidad
Anexos G.	Caracterización inicial del agua residual de la comunidad Caserío El Topo
Anexos H.	Caracterización final del agua residual de la comunidad del Caserío El Topo
Anexos I.	Planos del Sistema de tratamiento
Anexos J.	Operación y mantenimiento de los equipos

RESUMEN

Se diseñó un Sistema de Tratamiento de aguas residuales en el Caserio El Topo, parroquia Río Negro, cantón Baños de Agua Santa, con el objetivo de obtener agua tratada disminuyendo los parámetros que se encuentren fuera del límite permisible según el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente para reducir el impacto ambiental en el ecosistema y los medios hídricos, con este fin se realizó la caracterización físico-química y microbiológica del agua residual procedente de la comunidad Caserio El Topo, se identificó los contaminantes más importantes y se realizaron las pruebas de tratabilidad para el diseño respectivo. Como resultados se obtuvo que luego del sistema de desbaste el agua residual paso al humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial que ocupará una área superficial de 249,88 m² y un porcentaje de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO₅ con el Junco 79,07 %, del detergente 60 % y aceites y grasas 68,96 % mediante la degradación biológica posteriormente el agua residual paso por un proceso de coagulación y floculación en el que se obtuvo un porcentaje de remoción de detergente del 25 %, y por último el agua residual se dirigió a un sedimentador con capacidad de 5,124 m³ para la separación de lodos procedentes del floculador. El diseño seleccionado fue validado con los resultados de los parámetros utilizados en el diseño del humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial, concluyéndose en los valores determinados: Demanda bioquímica de oxígeno 18 mg/L, Demanda química de oxígeno 33 mg/L y detergentes, 0,8 mg/L y los análisis del proceso de floculación y coagulación el detergente tiene un valor de 0,6 mg/L. Se recomienda que la cantidad o fracción de lodos que no es recolectado en el humedal artificial se remueva en el lecho de secado que por el proceso de deshidratación se solidifica para luego utilizarse como compostaje o fertilizante.

Palabras clave: <SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES> <CASERÍO EL TOPO [COMUNIDAD]> <BAÑOS DE AGUA SANTA [CANTÓN]> <TUNGURAHUA [PROVINCIA]> <TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO AMBIENTE [TULSMA]> <HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL> <FLOCULADOR> <CANAL DE PARSHALL>

SUMMARY

A wastewater treatment system was designed in “El Topo” village from Río Negro parish, in Baños de Agua Santa Canton, with the purpose to obtain treated water decreasing the parameters which are outside the permissible limit according to unified text of secondary law from Ministry of Environment in order to reduce the environmental impact on the ecosystem and water resources, with this aim were developed the physicochemical and microbiological description of the waste water from village El Topo, the most important pollutants are identified and treatability tests for the respective design were made. As a results it was found that after roughing system the waste water was changed to the wetland subsurface of horizontal flow which took a surface area with 249,88m² and removal percentage of Biochemical Oxygen Demand-BOD; Junco with 79.07%, detergent with 60%, oils and greases with 68,96%, through biological degradation, subsequently the waste water changed through a coagulation and flocculation process in which was obtained a detergent removal percentage with 25%, and finally the wastewater is going into a settler with capacity of 5,124m³ for the separation of sludge which come from the flocculator. The selected design was validated with the results from parameters used in the design of artificial wetland subsurface of horizontal flow, concluding in certain values: Biochemical oxygen demand 18 ml/L, chemical oxygen demand 33mg/L and detergent 0,8 mg/L and analysis of coagulation and flocculation process the detergent has a value of 0,6 mg/L. It is recommended that the amount or sludge fraction which are not collected from the artificial wetland is removed in drying bed that by the dehydration process is solidified and the used as compost or fertilizer.

Key words: <WASTEWATER TREATMENT SYSTEM> <EL TOPO VILLAGE [COMMUNITY]> <BAÑOS DE AGUA SANTA [CANTON]> <TUNGURAHUA [PROVINCE]> <SECONDARY LAW UNIFIED TEXT FROM MINISTRY ENVIRONMENT [TULSMA]> <ARTIFICIAL WETLAND OF SUBSURFACE HORIZONTAL FLOW> <FLOCCULATOR> <CHANNEL PARSHALL>

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento vital para consumo humano del diario vivir. El crecimiento de la población humana provoca el desabastecimiento del agua y la generación de aguas residuales va en aumento producto de las actividades de los seres humanos para su subsistencia y desarrollo.

El agua residual procedente de actividades domésticas, urbanas e industriales contiene componentes orgánicos, inorgánicos, sólidos y microorganismos patógenos que son las causantes de múltiples enfermedades, que pueden llevar hasta la muerte, además el agua residual sin tratar y descargada directamente a los medios hídricos provoca un desequilibrio en el ecosistema.

La solución a esta problemática es, un sistema de tratamiento que consiste en la caracterización con métodos físicos, químicos y microbiológicos, y el monitoreo para la medición del caudal de acuerdo a la cantidad de población acentuada en el lugar de investigación, es prescindible la constante revisión de textos bibliográficos para la selección del mejor sistema de tratamiento que requiera para tratar el agua residual.

El sector Caserío El Topo, perteneciente a la parroquia Río Negro, cantón Baños de Agua Santa, no cuenta con un Sistema de Tratamiento de aguas residuales, y las aguas residuales generados por dicha comunidad se descarga directamente al río a través del alcantarillado.

La Memoria Técnica desarrollada por Departamento de Saneamiento Ambiental del cantón Baños de Agua Santa, verifica la gran importancia que tiene tratar estas aguas contaminadas, debido a que en el sector hay una constante actividad deportiva y turística.

La implementación de un sistema de tratamiento es la mejor opción para disminuir del impacto ambiental principalmente de los Ríos, mejorando así, la calidad de vida en la comunidad, razón social, económica, y las actividades de ganadería, agricultura (riego), piscicultura entre otros.

ANTECEDENTES

El sector Caserío El Topo se encuentra ubicada a 33 km del cantón Baños de Agua Santa, con una población actual de 400 habitantes con alrededor de 5 integrantes por familia. El clima es parecido a la provincia de Pastaza con una temperatura media de 21 °C y un máximo de 27°C.

El alcantarillado antes de cualquier estudio técnico fue construido por la misma comunidad y gracias a la organización de la junta parroquial, sin embargo, después de las constantes peticiones y a las necesidades requeridas por la comunidad las autoridades dieron paso a los estudios respectivos.

La Municipalidad de Baños Agua Santa, suscribió un contrato de consultoría técnica para la realización de los estudios de Red de Recolección de Aguas Servidas, Residuales, Colectores, Emisarios, Tratamiento y Descargas finales para el sector El Topo de la parroquia Río Negro cantón Baños de Agua Santa, Provincia de Tungurahua, para el efecto contrató los servicios de consultoría ya efectuadas por profesionales.

En atención de las crecientes necesidades, el gobierno seccional de la provincia de Tungurahua, cantón Baños, de la comunidad El Topo a través de la Municipalidad, han visto la prioridad de realizar los estudios necesarios para dotar del servicio de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales a dicha población.

Los sistemas de alcantarillado actualmente son un conjunto de tuberías técnicamente proyectados que funcionan a gravedad y sirven para el transporte de aguas residuales o servidas producto de la actividad diaria de toda la comunidad a la descarga directa al río, al cual se deberá tomar medidas para evitar al máximo la posible contaminación ambiental, incomodidades o afectaciones al paisaje debido a la mala disposición de residuos líquidos, basado en un sistema de tratamiento (Memoria Técnica El Topo, 2015).

JUSTIFICACIÓN

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Baños de Agua Santa en conjunto con la Dirección de Gestión de Saneamiento Ambiental trabaja por el beneficio de la población en cuanto a los recursos hídricos.

El presente proyecto consiste en estudiar, analizar y sobre todo proponer opciones y alternativas para dar solución a la problemática de aguas residuales generadas en el Caserío El Topo, mediante el Diseño de un Sistema de Tratamiento de aguas residuales.

El sector Caserío El Topo requiere la implementación Sistema de Tratamiento de aguas residuales no solo por razones de calidad de vida sino porque ahí se forja una creciente actividad pesca deportivo y un alto índice de turismo que visita a los lugares aledaños al río.

Dentro de la investigación tenemos la recolección y análisis de los parámetros del agua residual que permitirá Diseñar el Sistema de Tratamiento de aguas residuales y por con siguiente su tratamiento y distribución como agua limpia en cantidad y calidad suficiente para los habitantes del sector y sobre todo la devolución del agua tratada a los recursos hídricos que cumpla su ciclo sin alterar el ecosistema.

Por lo expuesto se justifica plenamente la realización de este trabajo de titulación en contribuir con el bienestar social y fortalecer el manejo de aguas residuales para disminuir el impacto ambiental en el sector del Caserío El Topo y su entorno.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas provenientes del Caserío El Topo perteneciente a la parroquia de Río Negro con lo cual se evitará la contaminación del Río Topo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la situación actual por medio de una caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales en base al TULSMA, Normas de Calidad y Descarga de Efluentes: Libro VI, Anexo 1, Tabla 10.
- Identificar contaminantes más importantes del agua residual.
- Determinar las variables que se encuentran fuera de la norma establecida para el Diseño de la Planta de Tratamiento de aguas residuales.
- Realizar pruebas de Tratabilidad utilizando los diferentes métodos.
- Plantear cálculos de ingeniería para el Diseño del Sistema de Tratamiento de aguas residuales.

- Validar el Diseño con la caracterización final de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales según las normas del TULSMA, Normas de Calidad y Descarga de Efluentes: Libro VI, Anexo 1, Tabla 10.
- Estimar los costos que se requiere para la implementación y ejecución del proyecto del Sistema de Tratamiento de aguas residuales y los planos correspondientes.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Aguas residuales

Las aguas residuales se consideran como el conjunto de aguas provenientes de distintos lugares con presencia de elementos extraños provocadas por actividades diarias del ser humano de forma directa o indirecta. En general estas aguas son mezcladas con aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que son conducidas a los alcantarillados por las diferentes vías de acceso.

1.2 Tipo de aguas residuales

Aguas residuales domésticas.- Son líquidos generados por viviendas y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas. Ejemplo, de lavandería, de inodoros, de cocina, etc.

Aguas residuales urbanas.- Es la mezcla de aguas residuales domésticas con aguas residuales industriales y con aguas de escorrentía pluvial, receptado por un sistema de colectores de alcantarillado. Ejemplo, mezcla de aguas de cocina, aguas negras, etc. con las diferentes actividades industriales y agua de lluvia.

Aguas residuales municipales.- Se refiere en forma general a los diferentes tipos de aguas residuales que se encuentran en los sistemas públicos de alcantarillado de ciudades y poblados. Ejemplo, aguas domesticas con lluvias, industriales entre otras.

Aguas residuales industriales.- Son líquidos procedentes de cualquier actividad industrial, en cuyo proceso de producción, transformación y manipulación se utilice agua incluyendo agua de proceso y de drenaje. Estas aguas residuales contienen casi todos los tipos de contaminante las cuales son vertidas en ríos, mares y lagos, luego de una parcial depuración. Ejemplo, Agua de curtiembre.

Aguas residuales pluviales.- Son aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que son conducidas a los alcantarillados por las diferentes vías de acceso. Estas aguas llevan consigo arena, tierra,

hojas, y otros residuos que pueden estar en suelo. Ejemplo, lavado de tejados, calles y suelos por escorrentía de la lluvia.

Aguas residuales agrícolas.- Son líquidos procedentes de labores agrícolas en las zonas rurales, las cuales son usadas en numerosos lugares sin previo tratamiento. Ejemplo, riego agrícola.

1.3 Composición de aguas residuales

Las aguas residuales se componen, básicamente, de un 99,9% de agua en su estado conocido como de agua potable y de, un 0,1% por peso de sólidos, sean éstos disueltos o suspendidos. Esta cantidad de porcentaje es la que debe ser removida para que el agua pueda ser reutilizada. El agua sirve o actúa como medio de transporte de estos sólidos, los que pueden estar disueltos, en suspensión o flotando en la superficie del líquido.

1.4 Caracterización de aguas residuales

1.4.1 Características físicas

Las principales características físicas de un agua residual son:

1.4.1.1 Sólidos

Hace referencia al material sólido contenida en el agua residual que puede ser desde hilachas hasta materiales coloidales.

Cuadro 1-1 Definiciones para sólidos encontrados en el agua residual

PRUEBA	DESCRIPCIÓN
Sólidos totales (ST): grupo de partículas conformados de sólidos disueltos, suspendidos y sedimentables	Residuo remante luego de una evaporación y secada a una temperatura de (103 – 105°C)
Sólidos volátiles totales (SVT): cantidad de materia orgánica capaz de volatilizarse	Son sólidos que son volatizados e incinerados cuando los ST son calcinados a (500 ± 50 °C)
Sólidos suspendidos totales (SST): la cantidad de materia sólida que queda retenida después de una filtración	Fracción de ST retenido sobre un filtro con un tamaño de poro específico medido después de que ha sido secado a una temperatura específica. El filtro más utilizado para la determinación de SST es el filtro Whatman de la fibra de

	vidrio que tiene un tamaño nominal de poros de aproximación $1,58\mu m$
Sólidos suspendidos volátiles (SSV): constituido por sólidos sedimentables en suspensión y coloidales, capaz de volatilizarse	Son sólidos que son volatizados e incinerados cuando los SST son calcinados a $(500 \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C})$
Sólidos disueltos totales (SDT): substancias orgánicas e inorgánicas disueltas en el agua	Residuos que permanecen después de calcar los SST a $(500 \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C})$
Sólidos disueltos totales (SDV) (ST-SST): detallado en el cuadro contiguo	Sólidos que pasan a través del filtro y luego son evaporados y secados a una temperatura específica. La medida de SDT comprende coloides y sólidos disueltos, los coloides son de tamaño $0,001 - 1\mu m$
Sólidos disueltos volátiles (SDV) (SVT-SST): comprende a los sólidos volátiles totales y sólidos suspendidos totales.	Sólidos que son volatizados e incinerados cuando los SDT son calcinados $(500 \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C})$
Sólidos sedimentables: cantidad de materia que se sedimenta en un periodo de tiempo	Sólidos suspendidos, expresados como mililitros por litro, que se sedimentarán por fuera de la suspensión dentro de un periodo de tiempo específico

Fuente: (Ron Crites et al, 2000)

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

1.4.1.2 Turbiedad

Este parámetro indica la calidad y transparencia del agua natural y las aguas residuales con relación al material residual en suspensión coloidal. Para la medición de la turbiedad en UNT se hace una comparación entre la dispersión de la luz en una muestra y la luz dispersa en una suspensión de referencias ambas muestras en las mismas condiciones.

1.4.1.3 Color

El color que presenta el agua residual se debe a sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. Para las fuentes de color en aguas residuales influye la infiltración, conexiones erradas en sistemas de recolección, descomposición de materia orgánica y descargas industriales. Se puede estimar la condición general del agua residual de manera cualitativa:

- Si el color es café claro, el agua residual lleva 6 horas después de su descarga.

- El color gris claro, en el agua hay indicios de descomposición y permanencia en el sistema de recolección por un periodo de corto tiempo.
- El color gris oscuro o negro, indica claramente que las aguas sépticas ha sufrido una fuerte descomposición anaeróbica.
- El color aparente es causado por sólidos suspendidos.
- El color verdadero es causado por sustancias disueltas y coloidales.

El color del agua residual se determina comparando entre el color de la muestra y el color producido por soluciones de diferentes concentraciones de cloroplatinato de potasio K_2PtCl_6 . Una unidad de color corresponde al color generado por 1,0 mg/L de platino.

1.4.1.4 Olor

El agua residual fresca emana un olor inofensivo pero cuando envejece aparecen olores de putrefacción porque libera una gran variedad de compuestos malolientes y es por la degradación biológica en condiciones aerobias de las aguas residuales.

Los principales compuestos de olor indeseable en las aguas residuales son:

- Sulfuro de hidrogeno o a huevo podrido
- Aminas (pescado)
- Amoniac (amoniaco)
- Sulfuro de hidrogeno (huevo podrido)
- Diaminas (carne descompuesta)
- Eskatol (material fecal)
- Dimetilsulfuro (vegetales descompuestos)
- Mercaptanos (olor descompuesto), formados en ausencia de oxígeno

La medición del olor se puede hacer por dos métodos sensoriales e instrumentales. La medición sensorial a través del sentido del olfato humano nos ofrece una importante información en niveles de detección bajo.

1.4.1.5 Temperatura

La temperatura del agua residual es mayor que la temperatura del agua para abastecimiento de la población ya que la mezcla de agua caliente proveniente de las viviendas e industrias altera la

temperatura ambiente del agua y además depende de la estación y posición geográfica, es así que, en la región costa y amazonia varia 13 a 30°C y en la región sierra varia de 7 a 18°C.

La temperatura es un parámetro de suma importancia porque de ello depende el crecimiento bacteriano, cambios en el ecosistema, reacciones químicas, solubilidad y otros factores influyentes.

1.4.2 Características químicas inorgánicas

1.4.2.1 pH

Indicativo básico o ácido del agua residual. Para medir la concentración del ion hidrogeno en una solución se la representa en términos de pH, el cual se define como logaritmo negativo de la concentración del ion hidrogeno.

Las aguas residuales antes de ser descargados deben tener un valor de pH en un intervalo de 5 a 9 pero si esta es menor a 5 o mayor a 9 el tratamiento de ésta es muy difícil a nivel biológico.

1.4.2.2 Nitrógeno y Fósforo

El nitrógeno y fósforo en unidades de mg/L, son elementos esenciales para el crecimiento biológico y de algas en las aguas receptadas y es por ello que los conoce como nutrientes o bioestimulantes.

Para la tratabilidad del agua residual por el método biológico se evalúa la concentración de nitrógeno presentes en el agua, en caso de una concentración insuficiente se debe agregar una cantidad necesaria de nitrógeno para una mejor tratabilidad.

El contenido total de nitrógeno está compuesto por:

- Nitrógeno amoniacal
- Nitritos nitratos
- Nitrógeno orgánico

Para evitar el crecimiento excesivo de algas requiere un control adecuado de la cantidad de compuesto del fósforo proveniente de descargas domésticas, industriales, escorrentía natural, etc.

El contenido de fósforo en soluciones acuosas incluye:

- Ortofosfatos
- Polifosfatos
- Fósforo orgánico

1.4.2.3 Alcalinidad

La alcalinidad es la capacidad de neutralizar ácidos y se determina por titulación con un ácido normalizado, expresado en una concentración de mg/L de carbonatos de calcio CaCO_3 . El agua residual suele tener un cierto grado de alcalinidad, cuyo origen es el agua de suministro y el aporte de sustancias de usos domésticos y esta concentración permite regular el pH por adición de ácidos.

La alcalinidad de aguas residuales se debe a la presencia de:

- Hidróxidos
- Carbonatos
- Bicarbonatos de calcio, magnesio, sodio, potasio o de ion amonio.

1.4.2.4 Cloruros

La determinación de cloruros es un parámetro importante durante el análisis de aguas residuales en unidades de mg/L, su procedencia se debe a diversas fuentes:

- En aguas naturales los cloruros provienen de cloruros lixiviados de rocas dependiendo del tipo de terreno que atraviese el agua.
- En áreas costeras se debe a la infiltración de agua del mar.
- En zonas áridas se debe al lavado de suelos por lluvia mezclada con agua residual.
- Una fuente más potencial es las descargas de agua residual doméstica, industriales y agrícolas sobre agua superficial.

Un contenido elevado de cloruros causa daños en estructuras metálicas, de conducción y en el crecimiento de la vegetación en el entorno.

1.4.2.5 Azufre

El azufre que tiene unidades en mg/L, es un elemento indispensable para la síntesis de proteínas, se encuentra el ion azufre en su forma natural tanto en aguas de abastecimiento como en aguas residuales. Los sulfatos se reducen a sulfuros y a sulfuros de hidrógeno por acción de las bacterias en forma anaerobia.

1.4.3 Características químicas orgánicas

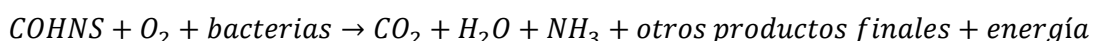
1.4.3.1 Demanda bioquímica de oxígeno DBO₅

Representa la fracción orgánica biodegradable presente en el agua residual y es una medida del oxígeno disuelto que requieren los microorganismos para consumir esta materia orgánica en 5 días y a 20 °C de temperatura. Las unidades de medida para el DBO₅ es mg/L.

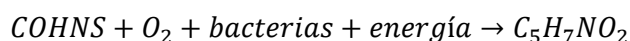
Las tres actividades que corre durante el proceso de degradación de la materia orgánica son:

- Una parte del desecho se oxida a productos finales obteniendo de esta manera energía para el mantenimiento de células y la síntesis de nuevos tejidos celulares.
- La otra parte del desecho se convierte en tejido celular nuevo gracias a la energía liberada durante la oxidación.
- Cuando ya no existe materia orgánica que consumir, la nueva célula empieza a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energía para el mantenimiento celular.

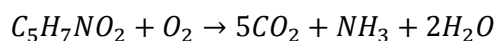
Oxidación



Síntesis



Respiración endógena



1.4.3.2 Demanda química de oxígeno DQO

La DQO se define como la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar por completo la materia orgánica contenida en aguas residuales cuya unidad de medida es mg/L. Este parámetro es susceptible a una oxidación química fuerte en una solución de dicromato en medio ácido.

Índice de Biodegradabilidad. La relación entre el DBO_5 y DQO permite establecer una idea de la naturaleza de los contaminantes orgánicos existentes en agua contaminadas y la posibilidad o no de efectuar un tratamiento biológico de las aguas residuales. El vertido de estas aguas con elevado contenido de DBO_5 y DQO a medios acuáticos provoca un desequilibrio y agotamiento de recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.

Para las aguas residuales el índice de biodegradabilidad se mide de la siguiente forma:

- $\text{DBO}_5/\text{DQO} < 0,2$ contaminantes de naturaleza **no biodegradable**.
- $\text{DBO}_5/\text{DQO} > 0,6$ contaminantes de naturaleza **biodegradable**.
- $\text{DBO}_5/\text{DQO} < 0,2$ se interpreta como un vertido de tipo **inorgánico** imposible depurar biológicamente.
- $\text{DBO}_5/\text{DQO} > 0,6$ se interpreta como un vertido de tipo **orgánico** de fácil depuración biológica.
- DBO_5/DQO alta: abundante contenido de material biodegradable y por consiguiente disponibilidad de oxígeno O_2 .
- DBO_5/DQO baja: poca cantidad de material biodegradable y escaso disponibilidad de oxígeno O_2 .

El índice de biodegradabilidad para la selección del tratamiento:

- $\text{DQO}/\text{DBO}_5 = 1,5$ materia orgánica muy degradable.
- $\text{DQO}/\text{DBO}_5 = 2$ materia orgánica moderadamente biodegradable.
- $\text{DQO}/\text{DBO}_5 = 10$ materia orgánica poco degradable.

1.4.3.3 *Carbono orgánico total COT*

Es la medida del contenido total de carbono de los compuestos orgánicos presentes en el agua. Se mide en mg/L, al llevar acabo la combustión del carbono con oxígeno obteniendo dióxido de carbono, el cual se cuantifica por infrarrojo o reducción a metano. (Guerra F. J et al, 2008, http://fjartnmusic.com/Personal/8o_Semestre_files/LIAPreP1.pdf)

La cantidad de COT presente en ciertos tipos de aguas residuales se puede usar como medida de su polución que a su vez guarda una semejanza con los parámetros DBO_5 y DQO, con la diferencia que en este método se mide el contenido de carbono y no la demanda del oxígenos de materia orgánica y la prueba de ensayo tarda 5 a 10 min.

1.4.3.4 Grasas y Aceites

Las grasas y aceites están constituidos de materia orgánica, básicamente son de origen animal, vegetales y de hidrocarburos, este último se genera por las actividades de talleres mecánicos, lavado de autos entre otros.

El término aceites y grasa hace referencia a todo tipo de grasas, aceites, ceras, u otros constituyentes que se puedan encontrar en el agua residual, debido a que son de naturaleza lipídica tienen baja densidad, poca solubilidad, baja biodegradabilidad por tal razón es necesario el control para evitar la formación de natas acompañado de espuma en la superficie del agua lo que entorpecería cualquier tipo de tratamiento físico-químico que se quiera realizar y es por lo que se considera su eliminación antes de cualquier proceso de tratamiento de aguas residuales.

Las grasas y aceites interfieren en el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera, es decir que, no permitirá el paso de la luz y oxígeno al agua, y mucho menos la salida del dióxido de carbono a la atmósfera y en el peor de los casos se producirá acidificación del agua y bajos niveles de oxígeno disuelto.

Aceites y grasas son compuestos que se determina por la extracción de una muestra de residuo con un solvente apropiado (triclorotrifluoretano) y la posterior evaporación del disolvente, las unidades de medida para aceites y grasa es en mg/L. La acumulación de estos compuestos genera problemas en tanques sépticos, en sistemas de recolección y en especial en el sistema de tratamiento de aguas residuales.

1.4.3.5 Tensoactivos

Los Tensoactivos son la materia activa de los detergentes que están compuestas de moléculas grandes, que tienen en un extremo un grupo apolar fuertemente hidrofóbico (insoluble en agua) y en el otro extremo un grupo polar fuertemente hidrofílico (soluble en agua), la presencia de ésta estructura en aguas residual se debe a la descarga de detergentes domésticos, lavanderías y otras actividades de limpieza.

La forma en que se determina los Tensoactivos en mg/L, es con el cambio de color de una muestra estándar de azul de metileno, nombre por el cual se lo conoce como sustancias activas al azul de metileno. Los Tensoactivos que tiene como finalidad la limpieza tienen como destino acabar vertidos en un medio acuático y el receptor final será el mar.

Además de los Tensoactivos, los detergentes están compuestos por otros compuestos tóxicos y contaminantes que pueden llegar a provocar eutrofización que nada más que la acumulación de residuos orgánicos en lagos, lagunas o embalses permitiendo la proliferación de ciertas algas.

En las plantas depuradoras, el detergente genera espuma, mientras que, los Tensoactivos promueve la espuma, que termina siendo perjudicial para las depuradoras y las aguas de los ríos.

Los métodos usados para la eliminación los Tensoactivos son:

– *Método de eliminación por espumación*

Se genera espuma por agitación donde se acumula el Tensoactivos luego se procede a retirar la espuma, pero es método poco usual y no recomendable.

– *Método de eliminación por adición de detergentes catiónicos*

Se añade Tensoactivos catiónicos para eliminar Tensoactivos aniónicos, produciendo una reacción cuyo producto es una sal insoluble que precipita y se elimina de agua. El principal problema de este método es su costo excesivo y los Tensoactivos catiónicos son mucho más tóxicos que los aniónicos.

– *Método de eliminación por precolación sobre el terreno*

La capacidad de adsorción de los Tensoactivos permite el uso de filtros verdes, los cuales consisten en regar una superficie donde hay una serie de plantas de crecimiento rápido. La materia orgánica y el Tensoactivos quedan retenidas en el sedimento, y el agua es utilizada por las plantas. Esto solo es válido para poblaciones pequeñas con mucha superficie de terreno. (Contaminación por detergentes, www.ingenieroambiental.com/?pagina=3281)

– *Método de eliminación por adsorción*

Los Tensoactivos tienden a adsorberse por lo que es ideal el uso de carbón activado, arcilla, la sílice entre otros. El proceso consiste en añadir pequeños trozos de estos adsorbentes hasta que se vincule con el Tensoactivos y luego se procede a retirar todo el material colmatado.

– *Método de eliminación por coagulante*

Los Coagulantes usados con frecuencia son: Fe^{3+} y Al^{3+} . Los cationes con mucha carga forman complejos de Tensoactivos coagulante, interaccionando con otros, hasta alcanzar la suficiente capacidad como para sedimentar.

– *Método de eliminación por oxidación química*

Los Tensoactivos son compuestos orgánicos que se pueden oxidar, el proceso no es biológico, para este proceso de oxidación pueden emplear:

- Agua oxigenada (H_2O_2)
- Ozono (O_3)
- Oxígeno (O_2)

1.4.4 Características biológicas

Las características biológicas de las aguas residuales son de fundamental importancia en el control de las enfermedades causada por organismos patógenos de origen humano, por el papel activo y fundamental de las bacterias y otros microorganismos dentro de la descomposición y la estabilidad de la materia orgánica bien sea en el medio natural o en plantas de tratamiento de aguas residuales. (Ron Crites et al, 2000, p. 74-85)

Los principales organismos presentes en el agua residual son bacterias, parásitos y virus. Las especies que predominan en el agua residual brutas son: *Escherichia*, *Salmonella*, *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Serratia*, *Nocardia*, *Spirochaeta sp.*

1.4.4.1 Bacterias

El ser humano excreta en sus heces, bacterias patógenas que contaminan el agua residual donde se forman organismos patógenos e inofensivos causantes de diversas enfermedades humanas y animales.

1.4.4.2 Parásitos

Los más importantes parásitos helmintos que pueden encontrarse en aguas residuales son: las lombrices intestinales como la lombriz estomacal, la *Tenia solitaria*, los gusanos estomacales, las etapas de reproducción de estos parásitos son el estado de adulto o larva. Ciertos parásitos son

resistentes al tratamiento de aguas residual pero se logra remover los huevos con tratamientos de sedimentación, filtración y lagunas estabilización.

1.4.4.3 Virus

Existen al menos 100 clases de virus estéricos capaces de transmitir infecciones, este tipo de virus se reproducen en el tracto intestinal y luego son expulsados por las heces y son las que causan enfermedades como: diarreicas, respiratorias, gastroenteritis, infecciones a los ojos, etc.

1.5 Muestreo de aguas residuales

Es una fracción representativa de la composición verdadera de la muestra, su finalidad es realizar un programa de muestreo que depende de varios factores tales como:

- El objetivo del muestreo
- Adecuado programa de los análisis
- Forma de colectar la muestra
- Manejo y preservación

De acuerdo a estas actividades los datos ambientales obtenidos tendrán valides, calidad y eficacia.

1.5.1 Método de recolección de muestras

Manual.- Es la forma de recolección más simple, sin el uso de equipamientos sofisticados con la desventaja de que resulta muy laborioso para programas de muestreo extendido en tiempo y espacio.

Automático.- Existen diversos sistemas automáticos de extracción de muestras. Su utilidad depende de la disponibilidad de dicho sistema y de su posible localización en el campo de manera segura.

Matrices sorbentes de muestreo (membrana o cartuchos).- Depende del analito en estudio.

1.5.2 Toma de muestras

Recipiente.- Los recipientes utilizados para la toma de muestras según la NTE INEN 2176 (1998) (Spanish): Agua. Calidad del agua. Manejo y conservación de muestras, se selecciona de acuerdo

con el tipo de muestra y/o cantidad, parámetro y método de análisis, la coordinación para la selección se lo realiza con el responsable de cada laboratorio para ejecutar el análisis de muestras.

Cuadro 2-1 Recipientes para la toma de muestra

Muestra	Material	Sellado
Normal	Botella de polietileno Botellas de vidrio borosilicatado	Tapas o tapones de plástico o de vidrio esmerilado
Microbiológica	Plástico Vidrio	Tapas de vidrio esmerilado Tapas de tornillo, y si es necesario con bandas elásticas de silicona, que resistan esterilizaciones repetidas a 160°C.

Fuente: NTE INEN 2176 (1998) (Spanish): Agua. Calidad del agua. Manejo y conservación de muestras

Etiquetado de la muestra.- Se utilizaron etiquetas impresas, fijadas con cintas auto adheribles transparente. La etiqueta lleva un código de muestra, fecha de muestreo, parámetros a ser analizados, y el nombre del laboratorio.

Manejo y preservación de la muestra.- Para que la muestra no presente ninguna alteración o cambios se considera varios puntos:

- El recipiente bien esterilizado.
- El llenado del recipiente para los parámetros físico químicos llenos y bien tapados, mientras que para los parámetros microbiológicos casi lleno dejando un espacio de aire antes de taparlo.
- Para la conservación de la muestra a una temperatura baja se usa una nevera portátil como refrigerante.
- Durante la transportación de la muestra se guarda en un ambiente fresco y protegidas de la luz. (NTE INEN 2176 (1998) (Spanish): Agua. Calidad del agua. Manejo y conservación de muestras)

Protección persona.- Para la toma de muestra es necesario cuidar la salud personal con equipamientos como guantes, mandil, botas, mascarilla, evitando de esta manera cualquier riesgo de contaminación.

1.5.3 Tipos de muestras

Puntuales o simples.- Muestras individuales recolectadas de forma manual o automática en un lugar o área específica en un instante en el tiempo. Se recomienda este tipo de muestra siempre y cuando el flujo del agua es uniforme y constante.

Compuesta. - “Está la formada por dos o más muestras o submuestras, mezcladas en proporciones conocidas, de la cual se puede obtener un resultado promedio de una característica determinada. Las proporciones para la mezcla se basan en las mediciones del tiempo y el flujo” (NTE INEN 2176 (1998) (Spanish): Agua. Calidad del agua. Manejo y conservación de muestras). Al homogenizar las muestras se verifica que los datos ambientales (parámetros) no varíen significativamente.

1.6 Población de diseño

La población futura o de diseño se determina a través de una proyección demográfica utilizando métodos de proyección aritmética, geométrica, logarítmica, entre otras. El método geométrico es lo más convencional para estimar una población pequeña, cuya ecuación es la siguiente:

$$Pf = Pa * \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n$$

Ecuación 1

1.7 Medición de caudales

Se define como medición de caudales, el caudal que pasa por una sección transversal de un conducto (tuberías, canales, río, etc.). El caudal se describe como la cantidad de agua que pasa en un intervalo de tiempo.

1.7.1 Método de medición de caudales

La medición de caudales es importante para determinar la cantidad de agua que se va a receptor para el dimensionamiento de un Sistema de Tratamiento de aguas residuales, en tanto que, los métodos empleados para aforar el agua son: Volumétrico, Flotador, Trayectoria, y Estructuras de medida entre otros.

1.7.1.1 Método volumétrico

Es el método más sencillo y directo que permite medir pequeñas cantidades de agua o caudales. Se emplea un recipiente de volumen conocido, se mide el tiempo que demora en llenarse dicho recipiente por medio de un cronómetro.

Para caudales mayor a 4 litros por segundo, se necesita un recipiente de 10 litros de capacidad, y para caudales mayor a 50 litros por segundo, un recipiente de 200 litro.

La precisión con que se mida el caudal por este método, se realizarán al menos 5 pruebas para obtener datos que resalten la variación del caudal y el promedio de las diversas mediciones.



Figura 1-1 Método volumétrico

Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-2sas.htm>

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

1.7.1.2 Método de trayectoria

Este método es muy útil para aforar el caudal en tuberías y bombas. La energía de agua que fluye por una tubería se manifiesta por trayectoria que describe al salir por su extremo libre. La trayectoria tiene dos componentes (X, Y), con ellos se obtiene resultados más acertado. (Jiménez, 2014, <http://es.slideshare.net/marydith1986/clase-2-infraestructuras-y-medicin-de-caudales>)

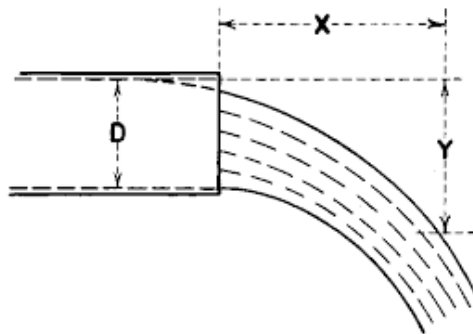


Figura 2-1 Método de trayectoria

Fuente: http://www.usbr.gov/tsc/hydlab/pubs/wmm/chap14_13.html

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

1.7.1.3 Método del flotador

Es empleado para medir caudales en canales y acequias, los datos obtenidos solo son una medida de aproximación de caudales, siendo necesario la ayuda de otro método para mayor precisión.

Todo cuerpo de masa despreciable puede utilizarse para medir la velocidad de una corriente líquida. Para su medición se selecciona un tramo del canal, se mide el tiempo en que un objeto (flotador) tarda en recorrer el espacio.

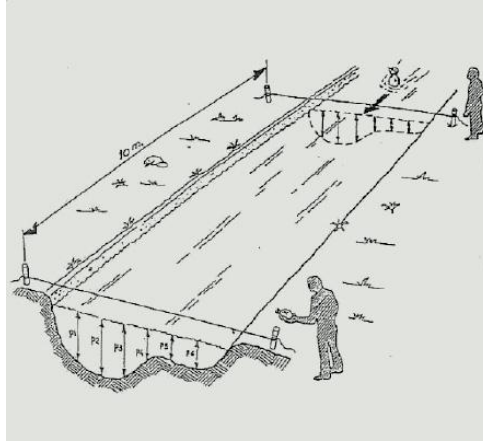


Figura 3-1 Método del flotador

Fuente: http://www.revista-anales.es/web/n_9/seccion_7.html

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

1.7.1.4 Método de vertedero

Los vertederos son dispositivos más utilizados en los Sistemas de Tratamiento, son estructuras que sirven de muro o de barrera que cambia el nivel de aguas arriba, y disminuye aguas abajo.

Las funciones que cumple un vertedero es como instrumentos de medición de caudales más antiguos, simples y confiables para medir el flujo del agua en un canal si se dispone de suficiente caída y la cantidad de agua a medir no es muy grande. Los vertederos son instrumentos efectivos de medición porque si tienen un tamaño y forma determinados en condiciones de flujo libre y régimen permanente, existe una relación definida entre la forma de la abertura determina el nombre del vertedero. (Quenaya, 2012, <http://es.scribd.com/doc/98490308/Medicion-de-Caudales-Par-Vertederos#scribd>)

Vertedero Rectangular. - Su construcción es simple y económico, para el cálculo del caudal se usa fórmulas de acuerdo a las características del vertedero rectangular.

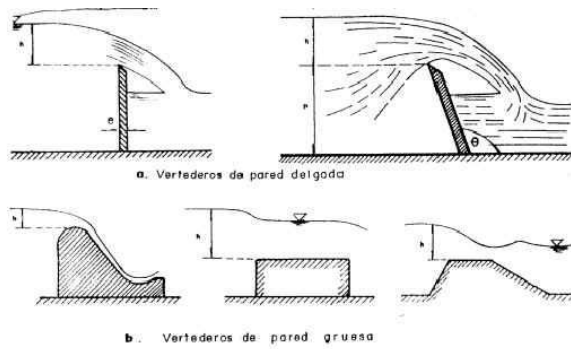


Figura 4-1 Vertedero rectangular

Fuente: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/medidores/vertparedelg/vertparedelg.html>

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Vertedero Triangular. - Consiste en una estructura en V de 90° , con el vértice dirigido hacia abajo, la precisión de la carga hidráulica es mucho más precisa en relación a los vertederos rectangulares. Su construcción se emplea para variaciones pequeñas de caudales.

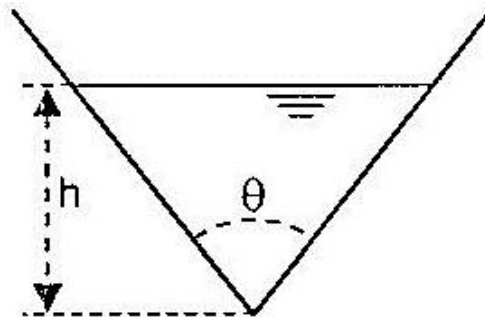


Figura 5-1 Vertedero triangular

Fuente: http://html.rincondelvago.com/hidraulica_3.html

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Vertedero trapezoidal. - Con la ranura en forma de trapecio invertido. La pendiente de los lados del trapecio corrige las contracciones laterales del manto de agua es, por lo tanto, proporciona a la altura de la cresta. Su campo de medida equivale al vertedero rectangular.

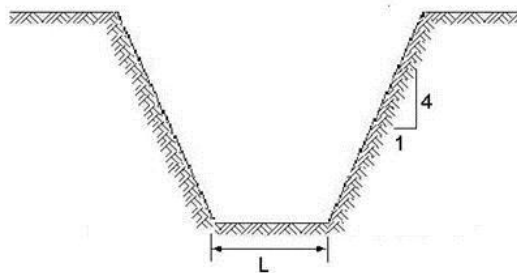


Figura 6-1 Vertedero trapezoidal

Fuente: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000117/contenido/cap5/lec5_2.htm

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Vertedero Parshall.- Cuando la implementación de los vertederos ya mencionados no es eficaz para la medición del caudal, ni para transportar un flujo con exceso de sedimentos, si no existe una altura de precisión suficiente se sugiere un vertedero Parshall.

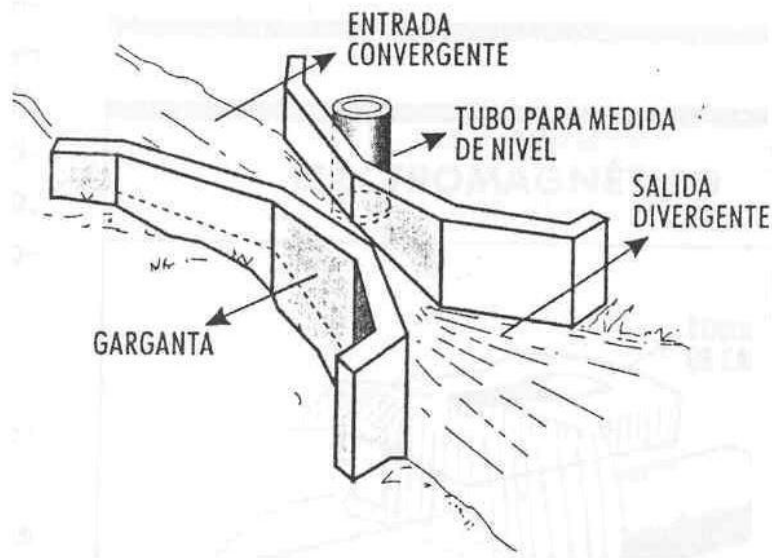


Figura 7-1 Vertedero Parshall

Fuente: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301332/EXE_301332/leccin_5_aforo_de_aguas_residuales.html
Realizado por: Martha Quindigalle 2015

1.7.2 Determinación del Caudal

La determinación del caudal permite evaluar la variación de caudales y la obtención de caudales medios. Para el caudal del proyecto de investigación se basa en la población actual, las predicciones de la población futura y el caudal de infiltración tomado en los estudios de alcantarillado.

– Caudal Mínimo

Es el valor menor de los caudales aforados que permite obtener la velocidad de flujo con el mínimo de los caudales para evitar la sedimentación en ciertas unidades del Sistema de Tratamiento.

– Caudal medio

Es el valor promedio de todos los caudales obtenidos en el muestreo y monitoreo del agua residual.

– *Caudal máximo*

Es el caudal máximo horario obtenido durante la medición de caudales.

– *Caudal medio teórico*

El cálculo del caudal medio teórico se realiza en base a los diferentes factores y características de la población beneficiaria del proyecto del Sistema de Tratamiento como: dotación de agua potable, el coeficiente de retorno y la población futura.

Dotación de agua potable. - Es el valor del consumo diario de agua potable de una población. Está en función del número de habitantes y del lugar en donde habitan. Se mide en litros por habitante-día (L/hab. día).

Coeficiente de retorno. - Indica que no toda el agua que es consumida dentro de cada domicilio es devuelta al alcantarillado por razones múltiples tales como el uso de agua en lavado de pisos, riego, cocina y otros. A partir de esto se establece que sólo un porcentaje del total de agua consumida se devuelve al alcantarillado, siendo este porcentaje llamado el coeficiente de retorno, que estadísticamente está entre un 70 y 80% (EX-IEOS, 1993).

Después de considerar todo lo mencionado, la ecuación para el cálculo del caudal medio teórico se realiza según la norma EX-IEOS.1992.

$$Q_{med.teo} = \frac{CR * Dt * Pf}{86400}$$

Ecuación 2

– *Caudal máximo teórico*

En la determinación de este caudal, se toma como base el caudal medio teórico, datos obtenidos en el monitoreo y medición del caudal. El coeficiente de simultaneidad es un factor primordial que permite determinar las variaciones máximas y mínimas que tiene el caudal de las aguas residuales.

La ecuación de Harmon es válido para población de 1000 a 10000 habitantes que se expresa a continuación:

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{Pf}{100}}}$$

Ecuación 3

Para el cálculo del caudal máximo teórico se usa la ecuación:

$$Q_{max.teo} = M * Q_{med.horario}$$

Ecuación 4

– Caudal de diseño

La elección racional del caudal de diseño se basa en consideraciones de tipo hidráulico y del proceso. Las unidades de proceso y de conducto deben estar sujetos a soportar los caudales pico que llegará al Sistema de Tratamiento de aguas residuales. Varias unidades de proceso se diseñan con respecto al tiempo de retención o de carga superficial para lograr un alto rendimiento de remoción. Pero estas unidades de tratamiento pueden ser afectados por las variaciones de los caudales al momento de ingresar a la planta, razón por lo que se debe considerar los valores máximos y mínimos del caudal en el diseño.

El cálculo del caudal de diseño es igual al promedio entre el valor de caudal medio horario y el máximo teórico sumado a este el caudal de infiltración.

Caudal de infiltración.- No se puede evitar la infiltración de aguas subterráneas en el sistema de alcantarillado y depende de varios factores como: la altura del nivel freático, permeabilidad del suelo y construcción, tipo y estado del alcantarillado.

Cuando no existe una implementación de un sistema pluvial corto o mediano plazo, es necesario considerar un mayor aporte de aguas pluviales de 2 L/s/Ha (Norma Técnica, 2015. <http://es.slideshare.net/freddyramirofloresvega/diseo-de-alcantarillado>).

Las ecuaciones para el cálculo del caudal de diseño son las siguientes:

Caudal medio de diseño

$$Q_{med.d} = \frac{Q_{med.horario} + Q_{med.teo}}{2} + Q_{in}$$

Ecuación 5

Caudal máximo de diseño

$$Q_{max.d} = \frac{Q_{max.horario} + Q_{max.teo}}{2} + Q_{in}$$

Ecuación 6

Caudal mínimo de diseño

$$Q_{minim.d} = \text{Al valor del caudal de aforo}$$

Ecuación 7

1.8 Sistema de tratamiento de aguas residuales

1.8.1 Canal rectangular-vertedero

El canal de entrada, es una estructura donde se descarga el agua residual proveniente de las tuberías de alcantarillado y posteriormente es transportada hacia al Sistema de Tratamiento. El dimensionamiento del canal se realiza con el fin de controlar las velocidades y el tirante de agua estén acordes para el diseño de las rejillas.

El tipo de canal dimensionado es, un canal abierto con superficie libre sometida a la presión atmosférica. La sección transversal mojada de los canales se encuentra en relación a los vertederos geométricos siendo los utilizados el trapezoidal, triangular y rectangular que muestra en la figura descrita a continuación:

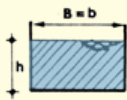
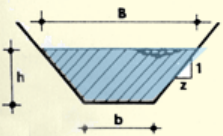
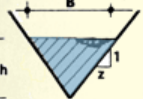
Sección transversal del canal	Superficie de la sección transversal A (m ²)	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico R = (2) ÷ (3) (m)	Anchura de la parte superior B (m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	bh	b + 2h	$\frac{bh}{b + 2h}$	b
	(b + zh) h	b + 2h $\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b + zh) h}{b + 2h \sqrt{1+z^2}}$	b + 2zh
	zh ²	2h $\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zh}{2 \sqrt{1+z^2}}$	2zh

Figura 8-1 Geometría de la sección transversal para canales abiertos

Fuente: ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6708s/x6708s08.htm

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Para la construcción de un canal abierto rectangular, el revestido del canal puede ser de: ladrillo, bloque u hormigón donde se considera la capacidad de conducción en la Tabla 3-1 se describe lo siguiente:

Tabla 1-1 Revisión de la capacidad de conducción de los canales revestidos

Anchura del fondo (m)	Altura del agua (m)	Pendiente longitudinal (porcentaje)			
		0,02	0,05	0,10	0,15
0,30	0,30	20-30*	30-40	40-60	40-70
0,50	0,40	40-70	70-120	100-160	120-200
0,80	0,60	140-240	230-370	320-530	400-650

Fuente: (Estructuras De Conducción De Agua)



Figura 9-1: Canales rectangulares revestidos

Fuente: ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6708s/x6708s08.htm

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

El borde libre en un canal abierto es un espacio que debe ir desde la parte superior del canal hasta la superficie del agua, se considera como un factor de seguridad para prevenir que las fluctuaciones en la superficie del agua causen desbordes debido a los altos niveles de agua que se recepa en el canal.

Las condiciones para determinar el borde libre se puntualiza de acuerdo a la capacidad del canal, a continuación se describe las condiciones para determinar el borde libre de un canal.

Tabla 2-1 Condiciones para determinar el borde libre de un canal

Caudal (m^3/s)	Borde libre(m)
Menor a 0,50	0,30
Mayor a 0,50	0,40

Fuente: (Pedro Rodríguez Rubio, 2008)

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Las ecuaciones empleadas para el dimensionamiento de un canal para la captación del agua residual son las siguientes:

- Radio Hidráulico del canal, (RH, m)

Es la relación entre la superficie sección transversal y el perímetro mojado (contorno que está en contacto con el agua), que se detalla en la Figura 8-1.

$$RH = \frac{b * h}{b + 2h}$$

Ecuación 8

- Velocidad media del canal, ($v, m/s$)

La estimación de la velocidad media del canal abierto está dada por la ecuación de Manning resumida de la forma original de la fórmula de Chézy, que se define de la siguiente manera:

$$v = \frac{1}{n} RH^{2/3} S^{1/2}$$

Ecuación 9

La ecuación de Chézy fue establecida como una ecuación de flujo uniforme, para lo cual se basa en dos suposiciones, la primera indica, la fuerza que resiste el flujo por unidad de área del lecho de la corriente es proporcional al cuadrado de la velocidad y el segundo, el principio básico del flujo uniforme.

La determinación de la ecuación de Manning fue realizada por pruebas y datos experimentales científicas bajo 170 observaciones y a partir de 7 ecuaciones. La utilización de esta ecuación es propicio para cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos y tuberías con flujos de agua uniforme.

Las fórmulas determinadas por Manning y Chézy son ecuaciones con restricciones donde se cumple condiciones para obtener la unidad deseada, en este caso las potencias 2/3 y 1/2 son las condiciones de restricción para nuestro cálculo (Marín Córdova, Carlos et al, 2012).

Tabla 3-1 Coeficiente de rugosidad de Manning en canales abiertos con revestimiento

Canales revestidos	N	1/n
Ladrillos de mortero de cemento	0,020	50,00
Hormigón, piezas prefabricadas, sin terminar, paredes rugosas	0,015	66,67
Hormigón, acabado con paleta, paredes lisas	0,013	76,92
Ladrillos, paredes rugosas	0,015	66,67

Ladrillos, paredes bien construidas	0,013	76,92
Tablas, con crecimiento de algas/musgos	0,015	66,67
Tablas bastante derechas y sin vegetación	0,013	76,92
Tablas bien cepilladas y firmemente fijadas	0,011	90,91
Membrana de plástico sumergida	0,027	37,04

Fuente:(Estructuras de Conducción del Agua, ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6708s/x6708s08.htm#top)

- Área de la sección transversal del canal, (A, m^2)

$$A = \frac{Q_{max.d}}{v}$$

Ecuación 10

- Altura máxima del agua en el canal, (h, m)

$$h = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

Ecuación 11

- Altura total del canal, (H, m)

$$H = h + h_s$$

Ecuación 12

1.8.2 Desbaste

Es una operación que tiene el propósito de separar residuos de gran tamaño como: cáscaras de alimentos, trozos de papel y madera, palos, trapos, etc. que se encuentren en suspensión o flotando en aguas residuales, para lo cual se hace un filtrado del agua bruta a través de rejillas. Las rejillas se utilizan para evitar daños u obstrucciones principalmente en bombas, válvulas, tuberías y otros elementos que son parte de equipos electromecánicos.

Las rejillas se clasifican de acuerdo al método de limpieza:

- Rejillas de limpieza manual para sistemas de tratamiento pequeño.
- Rejillas de limpieza mecánica, emplean mecanismo con ruedas dentadas que mueven un rastrillo para remover los residuos acumulados en el mismo.

Tabla 4-1 Condiciones de diseño de rejillas de limpieza manual y mecánica

Condiciones	Unidad	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Tamaño de la barra:			
Anchura	mm	5-15	5-15
Profundidad	mm	25-37,5	25-37,5
Separación entre barras	mm	25-50	15-75
Pendiente en relación a la vertical	Grados	30-45	0-30
Velocidad de aproximación	m/s	0,30-0,60	0,6-1,1
Perdida admisible	mm	150	150

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Las barras que conforman la rejilla llegan a tener máximo 10 mm de anchura por 50 mm de profundidad, se considera propicio un canal recto y perpendicular a la reja, de manera que se consiga una distribución uniforme de los sólidos en el flujo y en la rejilla (Metcalf & Eddy, 1995, p. 245)

El dimensionamiento de rejillas requiere de ecuaciones que se mencionan a continuación:

- Número de barras, (N_B)

$$N_B = \frac{b - S_p}{e + S_p}$$

Ecuación 13

- Longitud de las barras, (LB, m)

$$LB = \frac{H}{\text{Sen}\theta}$$

Ecuación 14

- Nivel máximo de agua, ($N_{max.a}, m$)

$$N_{max.a} = \frac{Q_{max.d}}{v * b}$$

Ecuación 15

- Longitud sumergida de las rejillas, ($L_{sum.r}, m$)

$$L_{sum.r} = \frac{N_{max.a}}{Sen\theta}$$

Ecuación 16

– Pérdida de carga en las rejillas, (h_c, m)

$$h_c = \beta \left(\frac{e}{S_p} \right)^{3/2} \frac{v^2}{2g} sen\theta$$

Ecuación 17

Para el cálculo de pérdida de carga se usan con los datos expuesto en la siguiente tabla:

Tabla 5-1 Coeficiente de pérdida para rejillas

Sección transversal							
Forma	A	B	C	D	E	F	G
β	2,48	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,79

Fuente: (RAS, 2000)

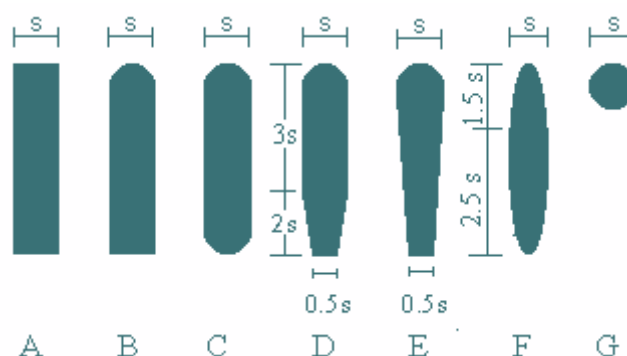


Figura 10-1 Diferentes formas de rejillas

Fuentes: RAS, 2000

Realizado por: Martha Quindigalle

1.8.3 Trampa de grasa

La trampa de grasa son sistemas diseñados para retener grasas y aceites por el método de flotación y por la diferencia de sus densidades. La grasa y los aceites con densidad inferior a la del agua se contienen en la parte superior para su posterior retiro y limpieza, y el agua más clara se descarga por la parte inferior del tanque.

Localización.- La disposición de la trampa de grasa se ubica antes de cualquier proceso posterior a ella y en especial de los tratamientos biológicos con el objetivo de evitar obstrucciones en

tuberías, equipos, y la generación de malos olores o pestilencias en las tuberías y accesorios por adherencia.

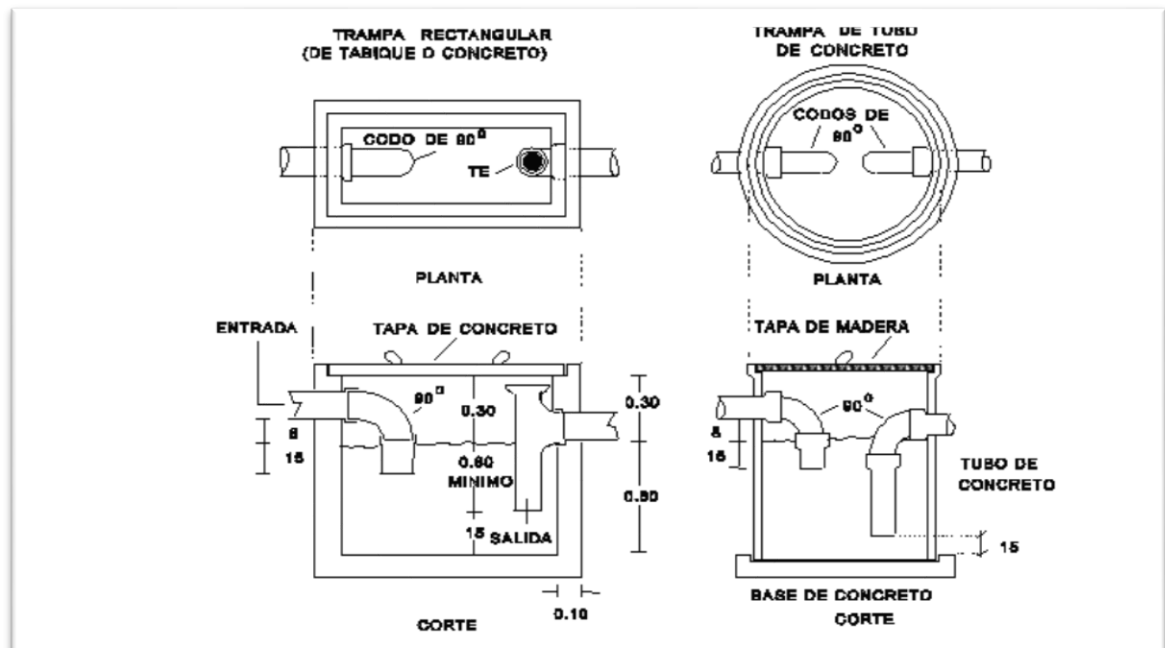


Figura 11-1 Trampa de grasa
Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Los criterios de diseño para dimensionar una trampa de grasa se expone en el siguiente cuadro.

Cuadro 3-1 Criterios de diseño de una trampa de grasa

Característica	Valor o rango
Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	24 minutos
Relación Largo: Ancho	Entre 2:1 y 3:2
Profundidad útil:	Mínima: 0,8 m y Máxima: 2,0 m
Dispositivos de ingreso y salida	Tee de 90° y mínimo de 3 pulgadas de diámetro
Sumergencia del codo de entrada	Mínimo 0,15 m respecto del nivel de salida
Borde libre	0,30 m (mínimo)

Fuente: (Lozano-Rivas, 2012)

1.8.4 Humedales

Los humedales son terrenos pantanosos e inundados con una profundidad de agua inferior a 0,6 m, con plantas emergentes plenamente adaptados a las características y condiciones del lugar.

“Toda vegetación en un lugar pantanoso proporciona superficies para la formación de películas de bacteria, facilita la filtración y adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua, y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar” (Metcalf & Eddy, 1995, p. 1060).

Elementos que caracterizan a los humedales:

- Vegetación hidrófila - vegetación asociada con medios acuáticos.
- Suelos hídricos - alto grado de humedad.
- Condiciones hídricas - influencia climática que involucra a las variables geomorfológicas y topográficas del lugar.

Para el tratamiento de aguas residuales para pequeñas poblaciones se han empleado:

- Humedales naturales
- Humedales artificiales

1.8.4.1 Humedales naturales

Desde un punto de vista normativo, los humedales naturales son considerados como cuerpos de agua receptoras. Por lo tanto, el vertido a estos terrenos está sujeto, en la mayoría de los casos a las limitaciones normativas aplicables que suelen obligar al tratamiento secundario o avanzado de las aguas a verter. Más aún el principal objetivo de vertido a humedales naturales debería ser la mejora del hábitat existente. La modificación de los humedales naturales para aumentar la capacidad de tratamiento suele ser contraproducente para el ecosistema natural y en general, no es una práctica que deba abordarse (Metcalf & Eddy, 1995, p. 1061).

1.8.4.2 Humedales artificiales

Los humedales artificiales son contruidos por el hombre que poseen las características y estructuras semejantes a un ecosistema, con la ventaja a favor de que éstas, no están sujetas a las limitaciones de vertidos a ecosistemas naturales. Para su base impermeable se usa grava, arcilla, arena o cualquier otro medio que permita el desarrollo de la vegetación ya que es el principal agente depurador.

Las plantas emergentes para los humedales artificiales pueden ser del mismo lugar o insertadas en el lugar de acuerdo a las condiciones climáticas, topográficas y geomorfológicas.

“Los humedales artificiales son sistemas no convencionales que dependen de procesos microbiológicos, biológicos, físicos y químicos para el tratamiento de las aguas residuales e implican bajos costos. Con un diseño adecuado y preciso, además de una operación y mantenimiento apropiado, se logra convertir al tratamiento de efluentes en un proceso de baja energía. Esto se cumple especialmente en comunidades pequeñas, preferentemente en zonas rurales, donde se dispone de grandes áreas para la instalación de los humedales” (Guillermo de Barros, 2014).

1.8.4.2.1 Principales actores del humedal artificial

1.8.4.2.1.1 Agua a tratar

El agua a tratar en los humedales artificiales son aguas residuales provenientes de las actividades realizadas por el ser humano como: domésticas, agrícola, ganadera, industriales, urbanas contienen contaminantes que deben ser removidos haciendo circular a través del sustrato y la vegetación.

La efectividad del humedal puede ser afectado por:

- Los cambios en la hidrología.
- La relación de la superficie del agua y la poca profundidad.
- La densidad de la vegetación provoca la obstrucción en la libre circulación del agua y bloqueo de la luz solar.

1.8.4.2.1.2 Vegetación

La vegetación utilizada en los humedales artificiales son plantas macrófitas emergentes, conocidas como plantas acuáticas adaptados a medios muy húmedos tales como: lagos, estanques, pantanos, orillas de ríos etc.

La principal función que realiza es la depuración de aguas residuales, dado que entre las adaptaciones que presentan estas especies destaca su capacidad para transportar oxígeno desde la parte aérea hasta las raíces favoreciendo el establecimiento de colonias de microorganismos que contribuyen a la eliminación de contaminantes así como su capacidad de absorción de nitrógeno, fósforo y metales pesados, permitiendo de esta manera mejorar la calidad del agua.

Vegetación emergente: la vegetación o plantas emergentes para los humedales artificiales pueden ser del mismo lugar o insertadas, considerando las condiciones climáticas, topográficas y geomorfológicas, entre los más utilizados son:

– *Scirpus*

El género *Scirpus* anuales y vivaces (se marchitan en el invierno), cespitosas (planta de rizomas cortos que crecen dando matas densas y cuyas innovaciones se desarrollan próximas a los tallos del año anterior) y rizomatosas de muy diferentes tamaños, que van desde 5 a 6 cm hasta casi 3 m y que se proliferan o colonizan en aguas pantanosas de forma permanente o estacional. Estas plantas son muy eficientes al momento de eliminar nitrógeno y soportan un rango amplio de pH.



Figura 12-1 *Scirpus Riparius*

Fuente: <http://www.uni-goettingen.de/downloads/flickr/showSet.php?id=72157629961125513>

Realizado por: Martha Quindigalle 2015



Figura 13-1 *Scirpus effusus* var. *Spiralis*

Fuente: <http://www.plantsrescue.com/category/ornamental-grasses-sedges/>

Realizado por: Martha Quindigalle 2015



Figura 14-1 *Scirpus effusus* var. *Spiralis*

Fuente: <http://conabio.inaturalist.org/taxa/47159-Schoenoplectus-californicus>

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

– *Typha*

La *Typha* (tatora, espadaña, enea o anea), es muy común en América del Sur, se denomina erróneamente como junco de laguna. Se caracteriza porque posee hierbas robustas, de 1 a 3 m de altura. Son plantas acuáticas emergentes monoicas (flores masculinas y femeninas en el mismo tallo). Requiere de una profundidad de 5 a 15 cm y un amplio espacio para su plantación. Es una planta ubicua (se encuentra en todas partes). La profundidad de sus raíces no llega más de 30 cm, motivo el cual, la oxigenación en el lecho de grava no es eficiente con este tipo de vegetación.



Figura 15-1 *Typha latifolia*

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Typha_latifolia#/media/File:Typha_latifolia_02_bgiu.jpg

Realizado por: Martha Quindigalle 2015



Figura 16-1 *Typha domingensis*

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Typha_latifolia#/media/File:Typha_latifolia_02_bgiu.jpg

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

– *Phragmites*

Son anuales y altos con rizoma perenne extenso, logran un cubrimiento amplio con 0,6 m de separación. Los sistemas que utilizan carrizos son más eficaces en cuanto al transporte de oxígeno que la *Typha* pero menos eficaces que los *Juncos*. Por su poca atracción alimenticia para los animales estas plantas no están propensos a ser devorados por ganado u otros animales herbívoros, por lo que, es muy usada en humedales artificiales. La transferencia de oxígeno es abundante debido a la profundidad de sus raíces con una profundidad de 45 cm.



Figura 17-1 *Phragmites australis*

Fuente: <http://science.halleyhosting.com/nature/basin/poaceae/phragmites/australis.html>

Realizado por: Martha Quindigalle 2015



Figura 18-1 Phragmites communis

Fuente: <http://www.cnseed.org/phragmites-communis-seed.html>

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Tabla 6-1 Características más comunes de las plantas emergentes usadas en los humedales artificiales

Nombre común	Nombre científico	Temperatura, °C		Rango de pH efectivo	Tolerancia máxima de salinidad, ppm
		Deseable	Germinación de las semillas		
Totora	Typha spp	10-30	12-24	4-10	30
Caña	Phragmites communis	12-23	10-30	2-8	45
Junco	Juncus spp	16-26		5-7,5	20
Junco	Scirpus	18-27		4-9	20
Carrizo	Carex spp.	14-32		5-7.5	

Fuente: (Wilmer A. Llagas Chafloque, E. Gámez, 2006)

– *Jacinto de agua*

El Jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*) es una macrófita acuática perenne de agua dulce, su crecimiento depende de un clima cálido pero proliferan en aguas residuales y extenderse y cubrir una laguna de acre en tan solo 8 meses. Las plantas individuales oscilan entre 50 cm a 117,5 cm desde la punta de sus flores color lavanda hasta el extremo de sus raíces.



Figura 19-1 Jacinto de agua

Fuente: <http://acuariosustentable.blogspot.com/>

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

1.8.4.2.1.3 Sustrato

El sustrato sirve de soporte a la vegetación, es un medio de lecho con suelo, grava, piedra, arena, y resto de vegetación acumuladas dependiendo de la composición del agua y el tipo de humedal que se va a construir. Su formación debe tener la suficiente permeabilidad por el paso del agua a través de él, por razones de conductividad hidráulica y reacciones físico-químicas.

El tamaño del medio granular debe estar cuidadosamente seleccionada, si el lecho está construido por elevadas cantidades de arcilla y limo se logra una mayor capacidad de adsorción (la adsorción es alta y el diámetro de los huecos es pequeño) y filtración, pero hay resistencia hidráulica mayor a lo esperado y por consiguiente se necesita mayor velocidad del flujo y la entrada del caudal al humedal es limitada.

La mezcla de grava y arena aumenta la conductividad hidráulica limitando la capacidad de adsorción y filtración, pero sirve como un medio ideal para el crecimiento de plantas y microorganismos para el proceso de biodegradación.

1.8.4.2.2 Tipos de humedales artificiales

1.8.4.2.2.1 Humedales artificiales de flujo libre (HAFL)

Los HAFL constan en general de canales o estanques en los que la superficie de agua está expuesta a la atmósfera y cubierta por alguna clase de barrera subterránea para evitar la infiltración. La depuración de aguas residuales se da cuando haya pasado por un proceso de pretratamiento y posteriormente circula el agua a través de tallos y raíces de plantas emergentes.

El pretratamiento HAFL comprende la sedimentación, tamizado o lagunas de estabilización; dado que la fuente principal de oxígeno es la aireación superficial por el mismo hecho que está expuesto a la atmósfera y el crecimiento de aguas adheridas.

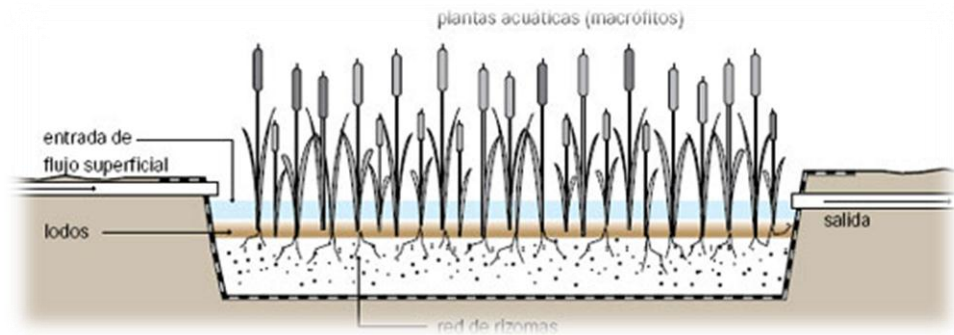


Figura 20-1 Humedal artificial de flujo libre

Fuente: <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891>

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

1.8.4.2.2.2 Humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFS)

Los HAFS son canales o estanque con un fondo impermeable sobre el cual se coloca un medio poroso que puede ser: suelo, grava, arena, piedras como sustrato de crecimiento en el lecho del lodo. Este tipo de humedales se construyen como un humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial y humedales de flujo vertical subsuperficial.

1.8.4.2.2.2.1 Humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial (HAFHS)

La Dra. Kathe Seidel del Instituto Max Planck de Alemania presentó una investigación donde se comprueba que las plantas emergentes como el junco común sirven de depurador, es decir, que remueve contaminantes microbiológicos, orgánicos e inorgánicos presentes en aguas residuales. De ahí su origen y base para el diseño de HAFHS, que consta de un canal grande relleno con un medio granular donde se inserta vegetación emergente. Al fluir horizontalmente las aguas residuales por el canal, el material filtra partículas y microorganismos y degrada el material orgánico.

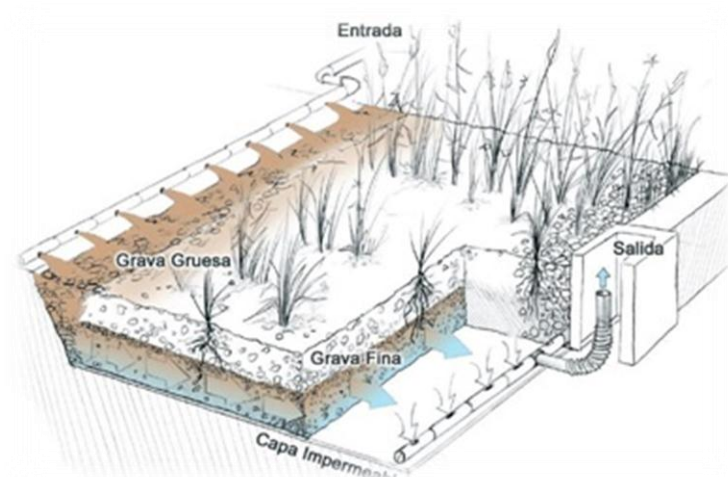


Figura 21-1 Humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial

Fuente: <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891>

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Este humedal se caracteriza porque funciona permanentemente inundado con una profundidad de agua de 0,3 a 0,9 m y de 0,05 a 0,1 m bajo la superficie además con una carga de alrededor de 6 g DBO/m².día

Los HAFHS consta de elementos como:

– *Localización*

Los HAFHS ocupan o requieren menor área de terreno que los humedales de flujo libre y generalmente tiene una pendiente de 0-0,5 %.

– *Capa impermeable*

La capa impermeable es conocida como geomembrana impermeable cuyo espesor es como mínimo de 1 mm para rodear todo el humedal.

Entre las geomembranas más usadas tenemos:

- Geomembrana polietileno de alta densidad - resistente a los agentes químicos.
- Geomembrana de PVC - es muy popular por su fácil instalación y flexibilidad.
- Geomembrana de polipropileno flexible-combina la resistencia química del polietileno de alta densidad y la flexibilidad del PVC.
- Geomembrana de polietileno-de muy baja densidad y resistente gracias a la combinación de las tres geomembranas ya mencionadas.



Figura 22-1 Geomembrana impermeable

Fuente: <http://es.slideshare.net/janetross/humedales-artificiales-en-lacabamba>
Realizado por: Martha Quindigalle 2015

La geomembrana está propensa a una ruptura por la colocación del material de relleno, para su protección resulta oportuno utilizar geotextiles con densidad superficial menor 500 g/m^2 y resisten a una presión mayor a 3500 N/m^2 . Si el tipo de terrenos es pedregoso y material cortante es necesario recubrir con una capa de arena o con otra capa de geomembrana.

– *Medio del lecho*

El medio que se utiliza con frecuencia es grava, que facilita el crecimiento microorganismos y enraizamiento de las plantas donde se realizan procesos de depuración del agua residual, ayuda a distribuir /recolectar de manera uniforme el caudal en la entra/salida también cumple la función de filtrar y atrapar las partículas con la que llega el agua residual. El tamaño adecuado de la grava va de 3 a 32 mm de diámetro, si se utiliza grava de mayor tamaño, incrementa la velocidad de paso del agua ocasionando turbulencias, pero si es grava de menor tamaño en cambio reduce la velocidad de paso del agua originando zonas con presencia de agua en la superficie e incrementa el área superficial para la actividad microbiana y la de adsorción.

Tabla 7-1 Características usuales del medio para los HAFHS

Tipo de medio	Tamaño efectivo d_{10}, mm	Porosidad %	Conductividad hidráulica $k_s, \text{m}^3/\text{m}^2 \text{d}$
Arena gruesa	2	28-32	100-1000
Arena pedregosa	8	30-35	500-5000
Grava fina	16	35-38	1000-10000
Grava mediana	32	36-40	10000-50000
Grava gruesa	128	38-45	50000-250000

Fuente: (Ron Crites et al, 2000)

– Arqueta

El objetivo de ésta caja es garantizar la distribución y recogida del agua, si el agua no se distribuye correctamente genera zonas muertas en el Sistema de Tratamiento de aguas residuales y de mayor riesgo de colmatación en zonas donde se vierta en mayor cantidad de agua.

El caudal del agua que ingresa al humedal deberá dividirse equitativamente de acuerdo al número de celdas que tenga el sistema, esto se realiza mediante el uso de arquetas (prefabricadas o armadas en situ) y aliviadores que se incluye en el mismo equipo.

La arqueta debe ser lo suficientemente grande para realizar la respectiva limpieza manual e inspección. La tapa debe ser de 0,7 x 0,7 m con material metálico o de plástico (polietileno) que permita la salida de gases, y resistente a un ataque de ácido.

Los tubos que conducen el agua desde las arquetas hasta las celdas deben tener a la salida de la arqueta una válvula para cerrar las conducciones durante operaciones de mantenimiento, cuando se cierran estas válvulas el agua pasa por un bypass sin pasar por los humedales.

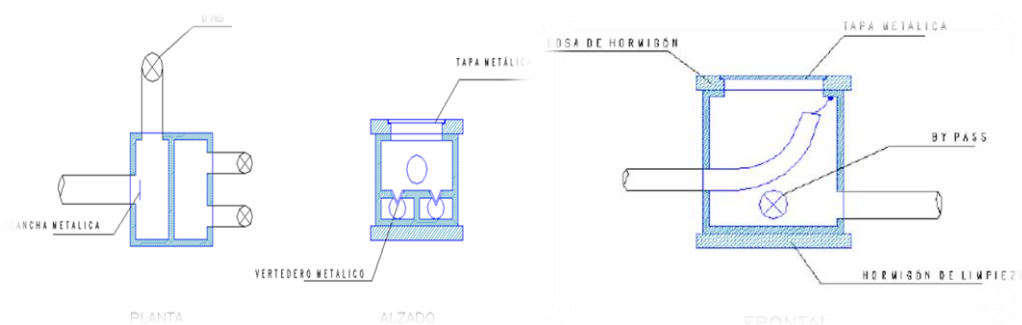


Figura 23-1 Características de una arqueta

Fuente: <http://es.slideshare.net/janetross/humedales-artificiales-en-lacabamba>

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

– Estructura de entrada y salida

La distribución del afluente debe ser uniforme a lo largo de la zona de entrada en el humedal, es esencial que se cumpla este punto para un mejor rendimiento. Se utiliza vertedero, tuberías de entrada y tuberías perforadas para la distribución del afluente en el humedal.

Los primeros tres metros de entrada esta generalmente construidos por un sistema de vertido y cubierta de rocas (50-100mm) para reducir las obstrucciones.

El equipo de salida consta sistemas de recogida y una franja de granular de gran tamaño situada en el tramo final. El sistema de recogida consta de tuberías perforadas con válvulas o tuberías en forma “L” invertida para modificar el nivel y drenaje del agua durante el tiempo de mantenimiento y finalmente una arqueta de salida que debe construirse con dimensiones que permitan su limpieza, el final de la conducción de drenaje consiste en tubos flexibles cuya altura se regula con cadenas o hilos que van recogidos en la pared de la arqueta, la conducción debe permitir el vaciado total de la celda, está debe ser de buena calidad para evitar rompimiento de la zona de la curva L invertida.

Tabla 8-1 Condiciones para las tuberías de entrada y salida

Factor	Unidad	Intervalo
Drenaje		
Clase (tubería perforada)	-	-
Tamaño	Pulgadas	2,00-4,00
Pendiente	%	0,1-1
Grava para drenaje	mm	20-40
Distribución del agua		
Diámetro de la tubería	Pulgadas	1-2
Distancia entre tuberías	m	0,5-1,2
Orificio de distribución	mm	3-8
Distancia entre orificios	m	0,5-1,2
Dosificación		
Frecuencia	Veces/día	40-60
Volumen/orificio	L/orif*dosis	0,6-1,1
Tiempo de aplicación	Minutos	2-15

Fuente: (Serie Técnica, 2010)

– *Tipo de vegetación*

“Se usan vegetaciones emergentes que puede ser juncos o carrizos hasta enneas (Typha), la función que cumplen estas plantas es proveer de oxígeno a la zona radicular y aumentar el área superficial para el crecimiento biológico en la zona de las raíces. El transporte de oxígeno hacia la zona radicular y luego a la columna de agua es limitado (Brix, 1993). Las raíces también liberan sustancias orgánicas a medida que degradan, lo cual sostiene la denitrificación.” (Ron Crites et al, 2000, p. 599)

Tabla 9-1 Profundidad de las raíces de la vegetación emergente en los humedales de flujo horizontal subsuperficial

Vegetación emergente	Profundidad de las raíces en el medio (cm)
Scirpus	76
Phragmites	>60
Typha	30

Fuente: (Humedales Construidos, Juan Pablo Silva V)

1.8.4.2.2.2 Humedales artificiales de flujo vertical subsuperficial HAFVS

Los humedales artificiales de flujo vertical subsuperficial se combinan con uno de flujo horizontal con el que se lleva a cabo dos procesos, el de nitrificación y denitrificación, para la eliminación del nitrógeno existente en el agua residual.

La circulación del agua en el humedal fluye de forma vertical y no está permanente inundado y es por eso que la profundidad del medio granular oscila entre 0,5 a 0,8 m y opera con una carga de alrededor de 20 g DBO/m².día. La pendiente de la superficie del humedal es de 0%, mientras que la pendiente del lecho es de 0,5 a 2% siendo su valor usual de 1%.

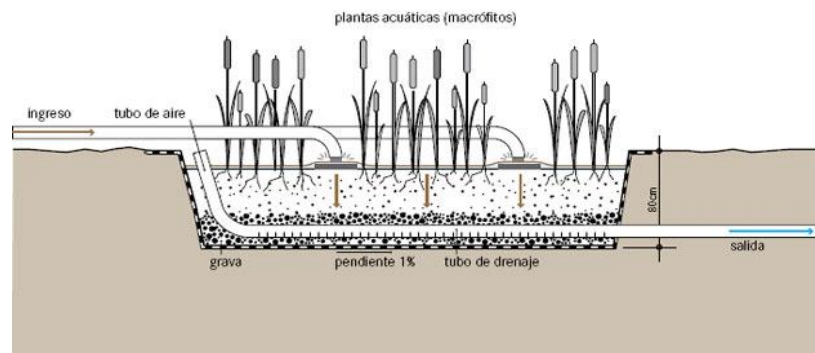


Figura 24-1 Humedales artificiales de flujo vertical subsuperficial

Fuente: <http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t7.html>

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

— Medio del lecho

Este humedal requiere varias capas de material según su granulometría. Las condiciones las podemos apreciar en el siguiente cuadro:

Cuadro 4-1 Características del medio granular según su tratamiento

	Tratamiento primario	Tratamiento secundario
Capa superficial	Altura > 30 cm grava fina, diámetro efectivo de 2-10 mm	Altura > 30 cm grava fina, diámetro efectivo de 25-40 mm
Intermedia	Altura de 10 a 15 cm grava fina, diámetro efectivo de 5-20 mm	Altura 10 a 20 cm grava fina, diámetro efectivo de 3-10 mm
Drenaje	Altura 10 cm grava, diámetro efectivo de 20-40 mm	Altura 10 cm grava, diámetro efectivo de 20-40 mm

Fuente: (Serie Técnica, 2010)

– *Estructura de entrada y salida*

La aplicación de las aguas residuales a este humedal se realiza en forma intermitente, a través de una tubería que se coloca sobre la superficie del lecho a lo largo de ella. La recogida de agua se lo realiza con tuberías perforadas en el fondo del lecho.

Para el funcionamiento correcto se considera en la construcción un diseño en paralelo, es decir, que cada humedal tenga un periodo de reposo y un periodo de aplicación de agua de esta manera se permite la oxigenación del interior del lecho filtrante.

El proceso se da en la siguiente forma, la lámina de agua aplicada empuja el aire existente en el sustrato o porosidad, una vez que el agua aplicada se drena totalmente deja un espacio vacío que se llenará con aire, el cual será arrastrado en la siguiente aplicación, por tanto, el oxígeno aportado por las raíces de la vegetación emergente es despreciable.

1.8.4.2.3 Comparación entre los diferentes flujos del humedal artificial

Existen diferencias muy claras entre el humedal de flujo libre y el humedal de flujo subsuperficial.

Cuadro 5-1 Comparación entre los diferentes flujos del humedal

Humedal de flujo libre	Humedal de flujo subsuperficial
Requiere áreas de mayor tamaño	Requiere áreas de menor tamaño
Requiere de un tratamiento secundario por ejemplo, lagunas, fango activado etc.	Requiere de un tratamiento preliminar o primario (desbaste, tanque séptico etc.)
Funciona con baja carga orgánica	Funciona con alta carga orgánica
El olor puede ser controlado	No existe olor alguno
El control de insectos tiene un alto costo	No es necesario el control de insectos

Las bajas temperaturas afecta a cantidad de remoción de contaminantes	La temperatura se mantiene constante por la acumulación de restos de plantas y el agua subterránea.
Los costos de construcción e implementación es menor	Los costos de construcción e implementación es relativamente caro por el uso de grava y otros medios granulares
Formación de ecosistemas sustentables	El ecosistema no es muy sustentable por el difícil acceso de agua a la fauna
Creación de nuevos ecosistemas	Para el tratamiento de aguas residuales a poblaciones pequeñas ubicadas en zonas rurales.

Fuente: (Serie Técnica, 2010)

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Los humedales de flujo horizontal y vertical realizan funciones muy específicas, la cual se puntualiza en el siguiente cuadro:

Cuadro 6-1 Funciones específicas de los humedales artificiales

	Horizontal	Vertical
Funcionamiento	Continuo	Descontinuo
Estado de oxidación	Más reducido	Más oxidado
Carga superficial	4 – 6g DBO ₅ /m ² d	20 – 40 g DBO ₅ /m ² d
Nitrificación	Complicada	Se consigue
Operación	Sencilla	Compleja

Fuente: (Serie Técnica, 2010)

1.8.4.2.4 Ventajas y desventajas de los humedales artificiales

En la tabla 16-1 se encuentra los principales aspectos que se deben tomar en consideración para la construcción e implementación de los humedales artificiales con respecto a los equipos convencionales de tratamiento de aguas residuales.

Cuadro 7-1 Ventajas y desventajas para la implementación de un humedal artificial

Ventajas	Desventajas
El tratamiento resulta efectivo y pasivo.	El área del terreno que ocupa es grande.
Minimiza la necesidad de equipos y por ende el uso de electricidad y monitoreo.	Acumulación de fósforo, metales y materia orgánica ligados al sedimento.
El costo de construcción, operación y mantenimiento es menor que con los equipos mecánicos.	

Es posible el tratamiento secundario en todo el año a excepción en épocas de frío. Es posible el tratamiento avanzado en todo el año en especial en épocas cálidas.	Las temperaturas bajas evitan la remoción de DBO y por consiguiente la nitrificación y denitrificación.
Forma un hábitat de vida silvestre	El agua que circula es anóxica (zonas de agua donde el oxígeno disuelto está agotado), y limita el potencial nitrificación rápida del amonio.
No produce biosólidos ni lodo que requiera un tratamiento posterior.	La proliferación de mosquitos y otros vectores son un problema.
La remoción de los contaminantes del agua residual (DBO, SST, DQO) es efectiva con un tiempo de retención adecuado.	

Fuentes: (Serie Técnica, 2010)

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

1.8.4.2.5 Mecanismos de remoción y transformación de los constituyentes

La remoción de los contaminantes contenidos en aguas residuales se da por mecanismos de conversión biológica, filtración física y sedimentación, precipitación química y adsorción. Para obtener el agua tratada depende de varios factores como: el tiempo de remoción, las características del lugar, temperatura, las tasas de la carga y las prácticas de manejo.

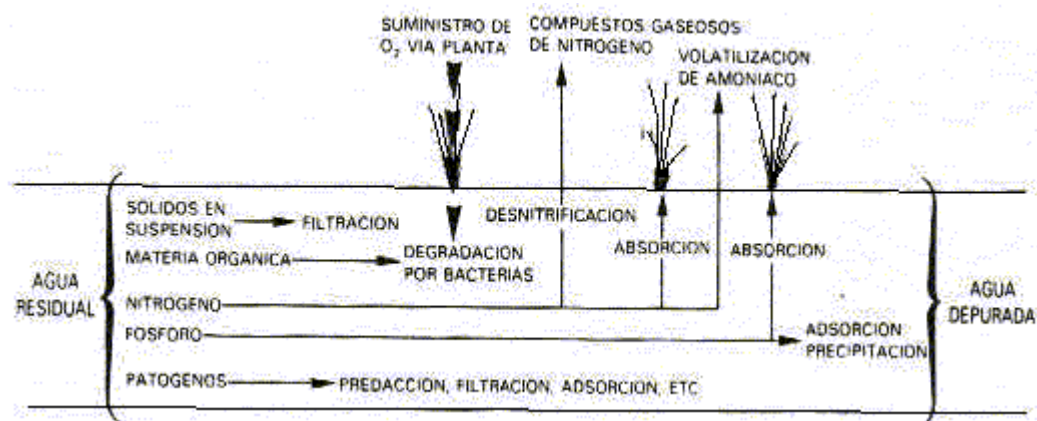


Figura 25-1 Mecanismos de remoción en los humedales artificiales

Fuente: <https://sites.google.com/site/humedalesartificiales/home>

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

— *Materia en suspensión*

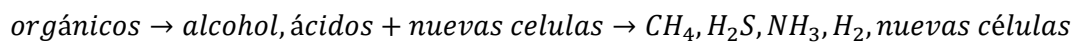
La materia en suspensión se remueve por mecanismos físico que se genera en el humedal, el medio granular cumple la función de filtrar, la sedimentación ocurre por la baja velocidad de

circulación del agua. La eliminación de materia en suspensión empieza en la zona de entrada del humedal y disminuye a lo largo del lecho, este proceso es similar en humedales de flujo vertical con la diferencia que el proceso ocurre en sentido vertical.

– *Materia orgánica*

Los procesos de filtración y sedimentación remueven una cierta cantidad de materia orgánica que se adhieren a los sólidos suspendidos. Sin embargo, lo que realmente remueve la materia orgánica son los microorganismos que se encuentran impregnados en las raíces y tallos de las plantas por biodegradación aeróbica o anaeróbica.

En los humedales artificiales la degradación aerobia ocurre cerca de la superficie del agua y en las raíces donde los microorganismos quimioheterótrofos oxidan los compuestos orgánicos y liberan amonio, en tanto que, los microorganismos quimioautótrofos oxidan el nitrógeno amoniacal a nitritos y a nitratos. Pero son los heterótrofos quienes remueven en mayor cantidad el compuesto orgánico ya que es la principal fuente de carbono para la síntesis de otras células, los autótrofos solo se nutren de dióxido de carbono como fuente de carbono pero ambos requieren de luz para una reacción química de oxidación y reducción. El total de oxígeno en el agua hace que la degradación de anaeróbica sea nula, la cual puede ser resumida en la siguiente ecuación:



– *Remoción de nitrógeno*

La remoción de nitrógeno en los humedales artificiales se logra por medio de nitrificación y la denitrificación. La asimilación de éste por parte de las plantas solo explica el 10% de remoción.

La nitrificación y denitrificación son reacciones microbianas que dependen de la temperatura y del tiempo de retención. Los organismos nitrificantes requieren de oxígeno y una superficie adecuada para crecer y, por consiguiente, no se encuentran en cantidades suficientes en los sistemas muy cargados de materia orgánica (demanda bioquímica de oxígeno) o en sistemas recién construidos. Para la aeración se utilizan tubos ubicados justo debajo de la superficie que provee de oxígeno en cierto punto del flujo donde el DBO se ha reducido por debajo de 30 mg/L de manera que los organismos nitrificantes puedan utilizar tal oxígeno.

– *Remoción de fósforo*

El fósforo en aguas residuales se convierte por oxidación biológica en ortofosfatos y en menor cantidad los polifosfatos, y fósforo orgánico. Los principales mecanismos para la remoción de fósforo son: la absorción, la precipitación química, y la asimilación por parte de las plantas emergentes donde se eliminan en un 20 a 30 %.

Cuando existe un tiempo de retención prolongado y no hay descarga continua del agua residual el fósforo queda retenido en el suelo o en las raíces. Se puede apreciar una reducción cuantitativa de fósforo a medida que la planta envejece o muere liberando dicho elemento que no excederá de 1 a 3 mg/L.

– *Remoción de organismos patógenos*

Las fuentes de recursos hídricos de ríos son generalmente utilizados en riegos, ganaderías y otras actividades que implica el consumo directo de alimentos por parte de los seres humanos y animales, es por esta razón que las bacterias patógenas y virus deben ser removidas en cantidades significativas mayores de 1 y 2 unidades logarítmicas / 100 ml para evitar la contaminación y enfermedades en la población. Los métodos más usados para la remoción de organismos patógenos son por adsorción, tratamiento de desinfección, predación y muerte por exposición a los rayos UV de la luz solar y temperaturas poco favorables.

Las ecuaciones empleadas para el dimensionamiento de los distintos humedales artificiales en relación a la dirección del flujo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 10-1 Ecuaciones aplicadas para los humedales artificiales en relación a la dirección del flujo

Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial	Humedal artificial de flujo vertical subsuperficial
Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura, (K_T, d^{-1}) $K_T = K_{20} * (\phi)^{T_2 - 21}$	Para este tipo de diseño el caudal de aplicación del agua residual debe ser mayor al caudal de infiltración; el agua residual contiene material en suspensión y por tanto reduce la conductividad hidráulica, para estas condiciones se aplican las siguientes ecuaciones.
Área superficial de humedal, (A_{SH}, m^2) $A_{SH} = \frac{Q_{min.horario} \ln \frac{C_0}{C}}{K_T * h_p * n}$	
Área de la sección transversal del lecho del humedal, (A_{ST}, m^2) $A_{ST} = \frac{Q_{min.horario}}{K_S * S}$	Conductividad hidráulica para el tratamiento primario, ($K_{sf}, m/s$) $K_{sf} = 0,6 * K_S$

Ancho del humedal artificial, (F_H, m) $F_H = \sqrt{\frac{A_{SH}}{2}}$	Caudal de infiltración, ($Q_{in}, m^3/s$) $Q_{in} = A_S * K_S$
Longitud del humedal artificial, (L_H, m) $L_H = 2F_H$	
Tiempo de retención de humedal artificial, (T_{HR}, m) $T_{HR} = \frac{A_{SH} * h_p * n}{Q_{min.horario}}$	
Volumen del humedal artificial, (V_H, m^3) $V_H = L_H * F_H * h$	
Carga de lodo en el humedal artificial $\rho_{lodos} = \frac{m_{lodos}}{V_{lodos}}$	

Fuente: (Serie Técnica, 2010)

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

1.8.5 Canal de Parshall

El canal de Parshall, es introducida en 1920 por el estadounidense R.L. Parshall, de ahí su nombre. El canal de Parshall tiene doble finalidad en un Sistema de Tratamiento de aguas residuales, mide la cantidad de agua que pasa por una sección del canal y en la turbulencia a la salida de la misma, servir de punto de inyección de sustancias químicas (coagulante) aprovechando el resalto hidráulico. Generalmente trabaja con descarga libre. La corriente pasa de una condición supercrítica a una subcrítica lo que origina resaltos.

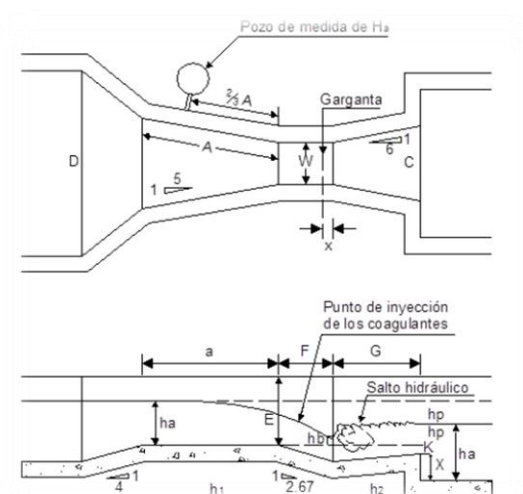


Figura 26-1 Canal de Parshall

Fuente: <http://abapeisa.com/nuevos-servicios-acreditados-para-el-control-de-vertidos-por-enac/>

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

El canal es una estructura de paredes verticales construidas a partir de cuatro partes principales:

- La transición de entrada: el piso se eleva sobre el fondo original, con una pendiente suave y las paredes se van cerrando ya sea de forma de línea recta o circular.
- Sección convergente: el fondo es horizontal y el ancho va disminuyendo.
- Garganta: con pendiente hacia agua abajo.
- Sección divergente: termina con una pendiente ascendente o hacia agua arriba.

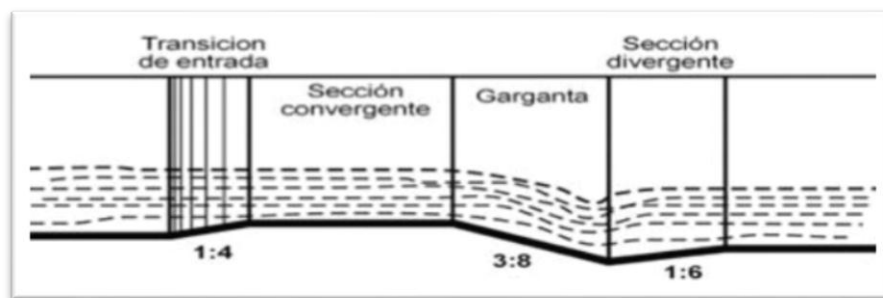


Figura 27-1 Paredes verticales del canal de Parshall

Fuente: http://amh.org.mx/docs/congr/Memorias%20de%20Hidraulica/Tema_art_vme1.pdf

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

1.8.5.1 Tipo de descarga

El flujo a través de un canal de Parshall, se puede verificar en dos condiciones diferentes:

- *Flujo o descarga libre:* la descarga se genera libremente como en los vertederos donde la línea o vena vertiente es independiente aguas abajo. En la práctica es recomendable tener una descarga, por razón de una medición de carga única.
- *Ahogado o sumersión:* el nivel de agua abajo es suficientemente elevado en el flujo a través del medidor pero jamás se debe exceder el límite práctico del 95 %, caso contrario no puede contar con la precisión deseada. Parshall indicó que cuando el grado de sumersión es mayor de 0.95, la determinación del gasto es incierta, por lo que debe adoptarse 0.95 como el valor máximo.

Tabla 11-1 Valor de grado de sumersión

Ancho de la garganta	Descarga libre	Descarga sumergida
$W < 0,30 \text{ m}$	$S < 0,60$	$0,60 < S < 0,95$
$0,30 < W < 2,5 \text{ m}$	$S < 0,70$	$0,70 < S < 0,95$
$2,50 < W < 15,0 \text{ m}$	$S < 0,80$	$0,80 < S < 0,95$

Fuente: (Manual De Agua Potable Alcantarillado Y Saneamiento, 2007)

La relación H_2/H , constituye la razón de sumersión. La descarga libre será cuando:

$$\frac{H_2}{H} = \frac{H_2}{H_o} \leq 0,60 \text{ para los Parshall } 3, 6 \text{ O } 9 \text{ pulgadas}$$

$$\frac{H_2}{H} = \frac{H_2}{H_o} \geq 0,70 \text{ para los Parshall } 1 \text{ o } 8 \text{ pies}$$

1.8.5.2 Puntos de medición

“Con la descarga libre, la única medida de carga H , necesaria y suficiente para conocer el caudal, es hecha en la sección convergente, en un punto localizado a $2/3$ de la dimensión B (o $2/3$ de A). En esta posición se puede medir el tirante de agua con una regla, o se instala junto a la pared, una escala para las lecturas. Se puede también asentar un tubo de 1 a 2 pulgadas, comunicando el nivel de agua a un pozo lateral de medición. Los pozos laterales de medición generalmente son de sección circular con diámetro igual a $W + 0.15 \text{ m}$.

Sobre el pozo lateral de medición se puede medir directamente el tirante del desagüe por medio de una regla graduada y determinar valores discretos de caudales diarios. Valores continuos de caudales se obtienen mediante un equipo llamado limnógrafo (escala graduada en centímetros); que es un registrador mecánico y que se instala sobre estos pozos laterales de medición trabajando en base a una boya que se instala en el pozo.

Si las condiciones de flujo fuesen de sumersión, además de la medida en la posición especificada arriba, será necesario medir la altura del nivel del agua H_2 , en un punto máximo de la sección final de la garganta. Para los medidores de 6 pulgadas hasta 8 pies, la posición para esta segunda medida deberá quedar a 2 pulgadas aguas arriba de la parte final de la sección estrecha.” (Diseño y Construcción, 2015 http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_135_183_88_1243.pdf)

1.8.5.3 Tipo de material

El canal de Parshall puede construirse en el campo o pueden ser prefabricados con los siguientes materiales:

- *Resinas plásticas:* los canales contruidos con este material, a) no admite roscas sobre el material plástico, las roscas deben ser hechas con injerto metálico rosqueado, pero admiten refuerzos de metal inoxidable fijados en la estructura plástica, b) debe resistir temperaturas mínima de 70 °C y los efectos de los rayos UV sin causar daños.
- *Resinas plásticas reforzadas con fibra de vidrio o lámina de acero:* el canal de Parshall está formado con un armazón único, debe tener una rigidez suficiente para evitar cualquier deformación durante su funcionamiento y mantenimiento.
- *Concreto:* los canales de Parshall prefabricados son revestidos en la parte externa del canal con concreto, para ello deben ser sujetados en el fondo y los laterales para encajar perfectamente en el canal del concreto.
- *Lamina de acero-carbón:* la superficie interna del canal debe recibir revestimiento resistente a la erosión debido a la circulación del agua en el canal.

1.8.5.4 Ventajas y desventajas

En el siguiente cuadro se puede resaltar las principales ventajas y desventajas del canal de Parshall para la implantación como mezclador de químicos (coagulantes) y medición de caudales.

Cuadro 8-1 Las principales ventajas y desventajas para implementar un canal de Parshall

Ventajas	Desventajas
La pérdida de carga es mínima	Adecuado sitio de descarga, ya que la canaleta requiere una pendiente que permita la formación de un flujo critico en área de la garganta de la canaleta
Una sola medición de carga es suficiente para determinar el caudal.	Para estructuras no estandarizadas la relación carga-gasto no puede establecerse de antemano y es necesario recurrir a calibraciones de laboratorio.
Capacidad de medir el flujo libre y el flujo relativamente sumergido.	

El agua tiene una velocidad, lo suficiente como para remover los sedimentos.	
El diseño de la estructura es simple y su construcción es económica.	
Ligero y resistente	
Puede manejar agua que contenga sólidos finos en suspensión	
Su precisión es buena: Descarga libre-error<3% Descarga sumergida-error del 5%	
No influye la velocidad con que el agua se aproxima a la estructura.	

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Para el diseño del canal de Parshall como mezclador se toman consideraciones o parámetros de diseño. De acuerdo a los estudios empíricos se determinaron los diferentes límites del caudal con respecto al ancho de la garganta del canal. Los valores de la Tabla 20-1 permiten determinar el ancho de la garganta del canal con los límites máximos y mínimos de los caudales.

Tabla 12-1 Determinación del ancho W de la Parshall en función del caudal

Ancho W	Límites de caudal (L/s)	
	Q Mínimo	Q Máximo
1"	0,28	5,67
2"	0,57	14,15
3"	0,85	28,31
6"	1,42	110,44
9"	2,58	252,00
12"	3,11	455,90
18"	4,24	696,50
24"	11,90	937,30
36"	17,27	1427,20
48"	36,81	1922,70
60"	45,31	2424,00
72"	73,62	2931,00

Fuente: (Salazar Lorena, 2012)

Los valores de la K (factor que depende del ancho de la garganta) y m (exponente que varía de 1,52 a 1,56), se detalla en la siguiente figura:

ANCHO DE LA GARGANTA DEL PARSHALL (w)		K	m
(pg.)	(m)		
3"	0.075	3.704	0.646
6"	0.150	1.842	0.636
9"	0.229	1.486	0.633
1'	0.305	1.276	0.657
1 1/2'	0.460	0.966	0.650
2'	0.610	0.795	0.645
3'	0.915	0.608	0.639
4'	1.220	0.505	0.634
5'	1.525	0.436	0.630
6'	1.830	0.389	0.627
8'	2.440	0.324	0.623

Figura 28-1 Los factores K, m para el dimensionamiento del canal de Parshall

Fuente: (<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/027757/027757-03b.pdf>)

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

La Tabla 13-1, nos presenta las dimensiones estandarizados para diferentes anchos de la garganta.

Tabla 13-1 Dimensiones estandarizados del canal de Parshall

W	(cm)	A	B	C	D	E	F	G	K	N
1"	2,5	36,6	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9
3"	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7
6"	15,2	62,1	61,0	39,4	40,3	45,7	30,5	61,0	7,6	11,4
9"	22,9	88,0	86,4	38,0	57,5	61,0	61,0	45,7	7,6	22,9
1'	30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
1 1/2'	45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
2'	61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
3'	91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
4'	122,0	183,0	179,5	152,2	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
5'	152,5	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
6'	183,0	213,5	209,0	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
7'	213,5	228,8	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
8'	244,0	244,0	239,2	274,5	340,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
10'	305,0	274,5	427,0	366,0	475,9	122,0	91,5	183,0	15,3	34,3

Fuente: (Salazar Lorena, 2012)

– Altura de agua en la sección de medición, (H_o, m)

$$H_o = K * Q_{max.d}^m$$

Ecuación 18

- Ancho de la sección de medición, (D', m)

$$D' = \frac{2}{3} * (D - W) + W$$

Ecuación 19

- Velocidad en la sección de medición, ($v_0, m/s$)

$$v_0 = \frac{Q_{max.d}}{D' * H_0}$$

Ecuación 20

- Caudal específico en la garganta de la canal, ($q, m^3/m.s$)

$$q = \frac{Q_{max.d}}{W}$$

Ecuación 21

- Carga hidráulica disponible, (E_0, m)

$$E_0 = \frac{v_0^2}{2g} + H_0 + N$$

Ecuación 22

- Ángulo del canal, (θ)

$$\cos\theta = - \frac{q * g}{\left(\frac{2}{3} * g * E_0\right)^{1,5}}$$

Ecuación 23

- Velocidad antes del resalto, ($V_1, m/s$)

$$V_1 = 2 * \sqrt{\frac{2gE_0}{3}} * \frac{\cos\theta}{3}$$

Ecuación 24

- Altura del agua antes del resalto, (h_1, m)

$$h_1 = \frac{q}{V_1}$$

Ecuación 25

- Número de Froude, ($F_1, adimensional$)

El Parshall funciona con un número de Froude de 2-3 siendo este un valor adimensional para la aplicación del coagulante.

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{h_1 g}}$$

Ecuación 26

- Altura del resalto, (h_2, m)

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right]$$

Ecuación 27

- Velocidad en el resalto, $(v_2, m/s)$

$$v_2 = \frac{Q_{max.d}}{W h_2}$$

Ecuación 28

- Altura de la sección de salida del canal, (h_3, m)

$$h_3 = h_2 - (N - K^1)$$

Ecuación 29

- Velocidad en la sección de la salida, $(v_3, m/s)$

$$v_3 = \frac{Q_{max.d}}{C * h_3}$$

Ecuación 30

- Pérdida de carga en el resalto, (h_{pr}, m)

$$h_{pr} = H_0 + K^1 - h_3$$

Ecuación 31

- Tiempo de mezcla en el resalto, (T, s)

$$T = \frac{2G}{v_2 - v_3}$$

Ecuación 32

- Gradiente de velocidad, (G', s^{-1})

$$G' = \sqrt{\frac{\rho f h_{pr}}{\mu T}}$$

Ecuación 33

1.8.6 Coagulación

El proceso coagulación es la reacción química que tiene lugar por la adición de determinados productos químicos a una dispersión coloidal, produciendo una desestabilización de las partículas coloidales o emulsionadas mediante la neutralización de cargas eléctricas que tienden a mantenerlas separadas (Juan. A. Sainz Sastre, 2005, p. 311).

La coagulación consta de tres pasos fundamentales:

- Formación de coagulantes.
- Desestabilización de las partículas.
- Interacción de las partículas durante e inmediatamente después de la dispersión en una mezcla rápida.

1.8.6.1 Coagulantes

Los coagulantes son compuestos químicos de hierro o aluminio capaces de producir una reacción química que pueda efectuar coagulación al ser añadidos al agua y por consiguiente los flóculos. La alcalinidad es el principal aleado del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando.

La selección del coagulante, así como su dosificación, deben determinarse de forma experimental para cualquier tipo de agua o agua residual si se desea obtener un equilibrio muy complejo en el que están involucrados varios parámetros como: pH, turbiedad, temperatura, etc. El proceso de coagulación se puede dar por tres vías:

Adición de iones: que se absorban o reaccionen con la superficie del coloide y en consecuencia disminuya su potencial. La dosificación de un electrolito fuerte da lugar a una mejor concentración iónica y en consecuencia a una disminución del potencial. (Juan. A. Sainz Sastre, 2005, p. 302-308)

Adición de un polielectrolito: llamados también ayudantes de coagulación, en sí, son polímeros orgánicos con carga eléctrica.

Los polielectrolitos se clasifican de acuerdo a su origen:

- Naturales: almidón, celulosa y los alginatos (polímeros orgánicos derivados del ácido algínico) entre otros.
- Sintéticos: están formados por monómeros simples que polimerizan en cadenas de alto peso molecular.

De acuerdo a la carga de los polímeros los polielectrolitos pueden ser:

- Aniónicos-carga negativa
- Cationicos-carga positiva
- No iónico-no es considerado en su totalidad un polielectrolito

Adición de sales metálicas: cuando una sal metálica, fundamentalmente de sal o aluminio se añaden al agua, se originan una serie de reacciones de hidrólisis, formándose un conjunto de sustancias de tipo complejo de carga multivalente, que son los responsables del proceso de coagulación.

Los reactivos utilizados generalmente son sales metálicas de cationes con alta carga iónica, de tal forma que en cuanto mayor sea la carga del catión y menor el radio iónico mejor será el rendimiento de la operación. (Juan. A. Sainz Sastre, 2005, p. 315)

Entre las principales sales metálicas usadas en el tratamiento de aguas residuales son:

- *Policloruro de Aluminio (PAC)*

Coagulante inorgánico a base de sales de aluminio polimerizado, utilizado para clarificar y tratar agua potable y residuales. El PAC es un coagulante que reemplaza a los coagulantes convencionales no polimerizados, siendo este mucho más efectivo para remover material coloidal en un sistema acuoso. El PAC desestabiliza la partícula coloidal formando coágulos que se aglomeran en un determinado tiempo de espera conformando en flóculos grandes y pesados que se sedimentan, su formación depende de factores como pH, el tipo de mezcla y sedimentación. El

pH del agua para la aplicación de PAC es alta con relación al Alum, es un producto que viene en estado líquido de color claro-ámbar y de apariencia clara turbia.

– *Sulfato de Aluminio (Alum)*

Durante décadas el Alum fue un producto dominante en los sistemas de tratamiento y clarificación de agua potable y aguas residuales por su costo razonable y fácil producción. En el mercado se encuentran en estado sólido y líquido. Reacciona en con la alcalinidad del agua con un pH de 5 - 7,5.

1.8.6.2 *Ventajas y Desventajas*

La siguiente tabla indica las diferentes ventajas y desventajas de los coagulantes más conocidos para el tratamiento de agua residual.

Cuadro 9-1 Las ventajas y desventajas de los coagulantes más usados en un sistema de tratamiento de aguas residuales

Ventajas	Desventajas
POLICLORURO DE ALUMINIO PAC	
Normalmente no requiere un ajuste de pH	Precio más alto por kg que con el Alum (compensado con una menor dosis)
Mejor comportamiento que ALUM: * En aguas frías * En la remoción de sustancias orgánicas * En la remoción de turbiedad y color * Produce menos lodo	Un pH demasiado alto para la coagulación puede bajar la remoción de sustancia orgánica
En comparación con el Alum: * Un rango de trabajo de pH más amplio * Aluminio residual más bajo	
Manejo más fácil de producto líquido y sólido	
Menor consumo de polímero	
Menor dosis de Aluminio que con el Alum	
Velocidad de reacción muy alta	
El producto sólido se disuelve fácil, sin insolubles	
SULFATO DE ALUMINIO ALUM	
Conocido, Buena disponibilidad	Se requiere normalmente un control del pH
Plantas normalmente diseñadas para el Alum	El rango de trabajo de pH muy limitado

El personal capacitado para el Alum y conoce su comportamiento	La remoción de material orgánica en el proceso limitada
Autoridades no cuestionan el uso del Alum	Problemas con agua de alta turbiedad
Forma flóculos blanco casi invisible	Muchas veces requiere un ayudante de floculación (polímero) para flocular
	Problemas con alto contenido de Aluminio residual

Fuente: (Potabilización con diferentes coagulantes de Aluminio y Hierro, XXII Congreso de Centroamérica y Panamá de Ingeniería Sanitaria y Ambiental “El Reto”). <http://www.isa.ec/index.php/va-viene/entry/policloruro-de-aluminio-vs-sulfato-de-aluminio>

1.1.1.1 Dosificación del Policloruro de Aluminio (PAC)

La dosificación del PAC se puede utilizar en forma sólida y líquido siendo esta última la más utilizada a nivel de tratamientos de aguas. La dosificación se realiza para un caudal máximo de diseño 5,36 L/s con una turbiedad inicial de 15,5 NTU de agua tratada saliente del humedal artificial, cuyo objetivo es reducir al máximo el valor del detergente que se encuentra fuera de norma.

- Cantidad de PAC requerida por día

$$P_{PAC} = Q_{max.d} * Dosis\ PAC$$

Ecuación 34

- Costo del PAC por día

$$C_{PAC} = P_{PAC} * costo\$$$

Ecuación 35

1.8.7 Floculación

Se puede definir como la aglomeración de partículas coaguladas de mayor peso y tamaño, desestabilizadas en flóculos que pueden sedimentarse. La coagulación-floculación es efecto de la adición de productos químicos que por acción de una lenta agitación produce el crecimiento de flóculos. Este crecimiento se debe al contacto entre partículas mayores a una micra creado por el gradiente de velocidad de la masa del líquido, razón por la cual la agitación debe realizarse con cautela, si esta es demasiado fuerte, los esfuerzos cortantes producen la ruptura de los flóculos en partículas más pequeñas y por consiguiente una sedimentación lenta.

La floculación debe distinguirse entre:

- *Floculación ortocinética*: se basa por colisión de partículas, gracias al movimiento del agua, el cual es inducido por una fuerza o energía externa de origen mecánico o hidráulico (paletas giratorias por ejemplo).
- *Floculación percinética*: es promovida por el movimiento natural del agua, donde la agitación de las partículas dentro la misma, por la gravedad o peso tienden aglomerarse y se realiza en un tiempo muy corto después desestabilizada la partícula, sin embargo, el flóculo formado no puede ser lo bastante grande como para sedimentarse o desecarse con la rapidez requerida.

Factores que incluyen en la floculación:

- Naturaleza del agua
- Variaciones del caudal
- Intensidad de la agitación
- Número de compartimentos de la unidad
- Gradiente de velocidad
- pH

1.8.7.1 Clasificación de los floculadores

El objetivo de los floculadores es proporcionar el movimiento suficiente para el crecimiento de los flóculos y su posterior sedimentación. Los floculadores se diseñan de acuerdo a la energía utilizada para su agitación.

1.8.7.1.1 Floculadores mecánicos

Los floculadores mecánicos requieren una fuente de energía externa para agitar el fluido en los tanques, donde el agua permanece en un tiempo teórico de detención. Generalmente para la floculación mecánica se usan paletas, hélices u otros elementos acoplados que es impulsado por una fuerza motriz.

Según el sentido del movimiento del agitador se clasifica:

- *Floculadores giratorios*: constan de un sistema de paletas (paralelas, perpendiculares e inclinadas al eje) adheridas a un eje horizontal o vertical según las condiciones del diseño requerido, el cual gira impulsado por un motor eléctrico desplazando el agua y produciendo trabajo. La principal desventaja que presenta este floculador es que está propenso a

cortocircuitos que influye en el tiempo de detención del fluido disminuyendo la eficiencia del proceso.

- *Floculadores reciprocantes*: consiste en una serie de parrillas o cintas colocadas en un balancín, de modo que desplaza el agua verticalmente hacia arriba y hacia abajo dentro del agua generando un movimiento de agitación del fluido.

1.8.7.1.2 Floculadores hidráulicos

En los floculadores hidráulicos, la energía necesaria para la mezcla proviene de la carga de velocidad que trae el fluido. Consiste en tanques provistos de canales, tabiques o pantallas entre los cuales el agua circula con una velocidad fija, produciendo cierta turbulencia en cada cambio de dirección del flujo.

Los floculadores hidráulicos más frecuentes en un sistema de tratamiento de aguas residuales son de flujo horizontal y vertical.

1.8.7.1.2.1 Floculador hidráulico de flujo vertical

El agua va y viene por encima y por debajo de los tabiques, pantallas o baffles que dividen el tanque. Su construcción es preferencial para plantas de dimensiones grandes con una profundidad de 2 a 3m.

1.8.7.1.2.2 Floculador hidráulico de flujo horizontal

El agua se desplaza en sentido horizontal entre dos tabiques consecutivos haciendo el giro al final de cada uno, el uso y construcción de este floculador es recomendable para plantas pequeñas con caudales menor a 100 L/s.

Los materiales más usados para su construcción son pantallas removibles de madera, plástico, asbesto y cemento (A.C) o cualquier otro material de bajo costo, y que no presente riesgo de contaminación con los materiales mencionados. De esta manera, se le da mayor flexibilidad a la unidad reduciendo el área y por consiguiente los costos de construcción.

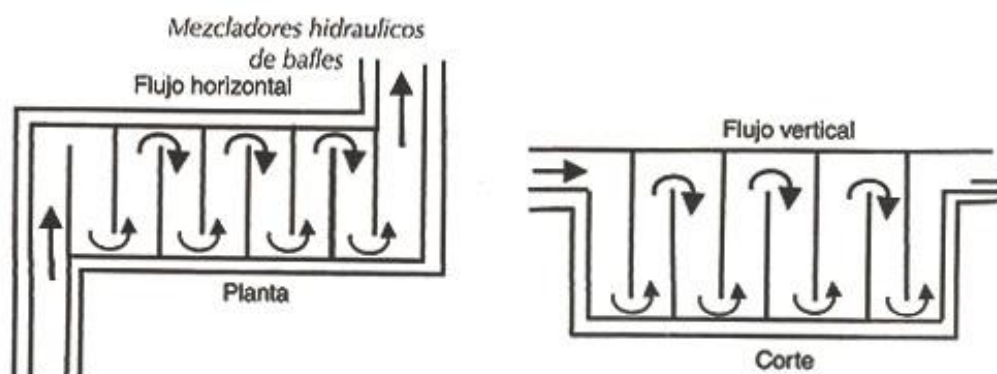


Figura 29-1 Floculadores Hidráulicos

Fuente: http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/imagenes/cartilla/imagen54.jpg

Realizado por: Martha Quindigalle

Tabla 14-1 Criterios de diseño para un floculador hidráulico de flujo horizontal

Tipo De Pantalla	Profundidad	Unidad
Asbesto-cemento (A.C)	1,0	M
Madera	1,5-2,0	M

Fuente: (L. Canepa de Vargas)

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Las pantallas de asbesto-cemento es ideal siempre y cuando el agua a tratar no sea ácida ni agresiva, en cuanto a la pantalla de madera ofrece mayor confiabilidad y se puede disponer tabique de madera machihembrada cubierta de un producto impermeabilizante, sin embargo para este material se tiene presente las condiciones climáticas (para zonas húmedas o cálidas no es recomendable).

Tabla 15-1 Dimensiones específicas para cada tipo de pantalla

Tipo De Pantalla	Coefficiente De Fricción Manning	Ancho (m)	Largo (m)	Espesor (m)
Asbesto-cemento corrugado	0,030	0,825	2,44	0,006
Asbesto-cemento plana	0,013	1,22	2,44	0,01
Madera	0,012	-	-	-

Fuente: (L. Canepa de Vargas)

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Al utilizar la pantalla de A.C corrugado se consigue disminuir la diferencia de gradiente de velocidad entre el canal y las vueltas, siendo el ancho útil de las láminas corrugadas es de 0,825m.

El espaciamiento entre el extremo de la pantalla y la pared del tanque, es decir, el paso de un canal a otro deberá ser de 1,5 veces el espacio entre pantallas. El ancho de la unidad deberá ser igual a tres veces el ancho de la pantalla corrugada más el espaciamiento entre el extremo de las pantallas y la pared del tanque en el último tramo. De todas formas las pantallas deben cruzarse como mínimo 1/3 del ancho de la unidad

Tabla 16-1 Número de intensidad

Norma	Gradiente de velocidad	Número de Camp
FAIR	$2 < G < 40 \text{ s}^{-1}$	$5000 < G.T < 50$
CAMP	$20 < G < 40 \text{ s}^{-1}$	
AWWA	$5 < G < 100 \text{ s}^{-1}$	$30000 < G.T < 15000$
BRASIL	$10 < G < 70 \text{ s}^{-1}$	
STENKIST	$G > 40 \text{ s}^{-1}$	
HUDSON		$G.T > 10$

Fuente: (L. Canepa de Vargas)

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Para el dimensionamiento del Floculador se requiere realizar los siguientes cálculos:

- Área del canal del floculador, (A_F, m^2)

$$A_F = \frac{Q_{max.d}}{v}$$

Ecuación 36

- Ancho del canal del floculación, (a, m)

$$a = \frac{A_F}{H_u}$$

Ecuación 37

- Ancho de las vueltas de floculación, (d, m)

$$d = 1,5 a$$

Ecuación 38

- Ancho del floculador, (B_f, m)

$$B_f = 3b_{ac} + d$$

Ecuación 39

- Longitud efectiva del canal, (LE, m)

$$LE = B_f - d$$

Ecuación 40

- Distancia recorrida por el agua, (L_c, m)

El tiempo de detención puede aplicarse según la norma AWWA de 20-30 minutos y de acuerdo a la norma GOMELLA de 10 a 30 minutos, (L_c, m)

$$L_c = v * Tr * 60$$

Ecuación 41

- Número de canales, $(Nc, unidades)$

$$Nc = \frac{L_c}{B_f}$$

Ecuación 42

- Longitud del floculador, (L, m)

$$L = Nc(d + es)$$

Ecuación 43

- Calculo del volumen del floculador, (V_F, m^3)

$$V_F = L * B_f * H_u$$

Ecuación 44

- Pérdida de carga continua en las vueltas, (h_{c1}, m)

El coeficiente de pérdida de carga en las vueltas varía de 2 a 4 siendo su valor usual 3.

$$h_{c1} = \frac{kv^2(Nc - 1)}{2g}$$

Ecuación 45

- Perímetro mojado en la sección en la sección del tramo, (P, m)

$$P = 2 H_u + a$$

Ecuación 46

- Radio hidráulico de los canales en la sección del tramo, (R_H, m)

$$R_H = \frac{A_F}{P}$$

Ecuación 47

- Pérdida de carga en los canales de la sección del tramo, (h_{c2}, m)

$$h_{c2} = \frac{(nv)^2}{R_H^{2/3}} * L_c$$

Ecuación 48

- Pérdida de carga total en el último tramo, (h_{cT}, m)

$$h_{cT} = h_{c1} + h_{c2}$$

Ecuación 49

- Gradiente de velocidad, (G, m)

El gradiente de velocidad calculado debe estar entre 20 s^{-1} y 70 s^{-1}

$$G = \sqrt{\frac{\rho f h_{cT}}{\mu Tr}}$$

Ecuación 50

- Número de Camp, $(G_T, \text{adimensional})$

$$G_T = G * Tr$$

Ecuación 51

1.8.8 Sedimentación

La sedimentación es un proceso de separación físico que reduce la turbiedad del agua y elimina partículas suspendidas y material flotante, por acción de la gravedad en un tiempo determinado. Esta operación es la más usada en los Sistemas de Tratamiento de aguas residuales como etapa complementaria de otro tratamiento anterior, por ejemplo coagulación-floculación, oxidación, precipitación entre otros. El proceso se basa en disminuir la velocidad del flujo del agua que pasa por el tanque, provocando que los sólidos en suspensión se sedimente por las diferencia de densidades de las partículas contenidas en el agua, es decir, que las partículas mayor a 100 Kg/m^3 se asentarán con facilidad en el fondo del tanque por gravedad, y las partículas menor 100 Kg/m^3 en cambio flotarán hacia la superficie del agua como materias flotante.

1.8.8.1 Sedimentadores

Los sedimentadores tienen por objeto separar del agua cruda las partículas inferiores a 0,2 mm superiores a 0,5 mm contenidas en el agua por efecto gravitacional. Los tanques de sedimentación pueden ser de forma rectangular, cuadrada o circular.

En los sedimentadores rectangulares predomina el flujo que cuenta con sistemas de recolección de lodo sedimentado, los cuales pueden ser de barredores con cadenas o de puente móvil, razón por la cual, este dispositivo es ideal en zonas donde no se tenga certeza de contar con personal capacitado para las tareas de operación y mantenimiento.

En los sistemas con barredores, los lodos sedimentados se arrastran hasta los pozos para lodos, mientras que en plantas grandes se arrastran hasta unos canales de fondo transversales, los cuales cuentan con sistemas de recolección (colectores transversales), de barredores de cadena o tornillo que conducen los lodos hasta uno o más pozos dispuestos para la recepción de material sedimentado.

En los sistemas de puente móvil, el mecanismo de recolección es similar pero, en lugar de barredores se instala una o más cuchillas que cuelgan del puente. Es conveniente también contar con instalaciones de bombeo cerca de los pozos de recogida de lodos ubicados en los extremos del tanque. Una estación puede fácilmente servir para dos o más tanques.

En cuanto a los sedimentadores circulares el flujo es de tipo radial porque el agua se introduce al centro del tanque por tuberías suspendidas del puente.

“El agua residual se distribuye uniformemente en todas las direcciones con ayuda de un vertedero circular ubicado en la zona central del tanque. Este sistema cuenta con un sistema de dos y cuatro brazos que giran lentamente, equipados con barredores en el fondo para la remoción de lodos y con cuchillas superficiales para remover espuma. Los sedimentadores circulares con alimentación perimetral cuentan con un deflector circular suspendido a corta distancia de la pared del tanque, formando un espacio anular por donde se descarga el agua residual en dirección tangencial.

El agua residual fluye alrededor del tanque de manera de espiral hasta pasar por debajo del deflector, mientras que el agua clarificada se recoge por medio de unos vertederos colocados a ambos lados de un canal ubicado en la parte central.” (Estrada José, 2015 <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/17090/1/Sedimentador%20Laminar%20en%20el%20Tratamiento%20de%20Agua%20para%20Consumo%20Humano.pdf>)

Tabla 17-1 Tiempo de retención para sedimentadores

Tiempo de retención	Valor mínimo (h)	Valor típico (h)	Valor máximo (h)
Caudal medio	1,5	2,00	3,00
Caudal máximo	1,0	1,5	2,00

Fuente: (Uralita)

▪ *Zona de entrada*

La Pantalla Difusora según OPS/CPIS deberá permitir una distribución uniforme del caudal y de igual forma las partículas en el agua, es por eso que dimensionará una pantalla difusora que se ubicará a 0,7 m a 1 m de la entrada del agua al sedimentador y está compuesta por un número de orificios que cumple el área total de todos ellos.

- Área del orificio, (A_o, m^2)

$$A_o = \frac{Q_{max.d}}{v_o}$$

Ecuación 52

- Área de cada orificio, (Ac_o, m^2)

$$Ac_o = \pi \left(\frac{d_o}{2} \right)^2$$

Ecuación 53

- Número de orificios, ($N_o, unidades$)

$$N_o = \frac{A_o}{Ac_o}$$

Ecuación 54

- Espacio entre filas de orificios, (ϕ_{s1}, m)

$$\phi_{s1} = \frac{H_{PD}}{nf}$$

Ecuación 55

- Espacio entre las columnas de orificio, (ϕ_{s2}, m)

$$\phi_{s2} = \frac{b_s}{nc}$$

Ecuación 56

- *Zona de sedimentación*

En tanque consta de un volumen, longitud y condición de flujo adecuado para que las partículas se sedimenten con facilidad y en el tiempo deseado, por lo que, se diseña tomando en cuenta la velocidad crítica de sedimentación.

- Volumen de sedimentación, (V_s, m^3)

$$V_s = Q_{max.d} * Ts$$

Ecuación 57

- Velocidad de sedimentación de las partículas discretas, ($v_s, m/s$)

$$v_s = \frac{g}{18} \left(\frac{\rho_s - \rho_f}{\mu} \right) d^2$$

Ecuación 58

- Velocidad de sedimentación de la partícula crítica, ($v_{sc}, m/s$)

$$v_{sc} = 0,22 \left(\frac{\rho_s - \rho_f * g}{\rho_f} \right)^{2/3} \frac{d}{\nu^{1/3}}$$

Ecuación 59

- Altura de la unidad (H_s, m)

$$H_s = v_s * Ts$$

Ecuación 60

- Área superficial de sedimentación, (A_s, m^2)

$$A_s = \frac{Q_{max.d}}{v_s}$$

Ecuación 61

- Ancho del tanque sedimentador, (b_s, m)

$$b_s = \sqrt{\frac{A_s}{3}}$$

Ecuación 62

- Longitud del tanque sedimentador, (L_s, m)

$$L_s = \frac{A_s}{b_s}$$

Ecuación 63

- Longitud total del sedimentador, (L_{Ts}, m)

$$L_{Ts} = L_s + 0,70m$$

Ecuación 64

- Cálculo de la altura total del sedimentador, (H_T, m)

$$H_T = H_s + 0,10 L_{Ts}$$

Ecuación 65

- Volumen del tanque sedimentador, (V_{Ts}, m)

$$V_{Ts} = b_s * L_s * H_s$$

Ecuación 66

- Altura crítica, (H_c, m)

$$H_c = v_{sc} T_s$$

Ecuación 67

- Tiempo de retención hidráulica, ($T_{RH}, días$)

$$T_{RH} = \frac{V_{Ts}}{Q_{max.d}}$$

Ecuación 68

- Velocidad de arrastre, ($v_a, m/s$)

$$v_a = \sqrt{\frac{40(\rho_s - \rho_f)g}{3 \rho_f}}$$

Ecuación 69

1.8.9 Lecho de secado

1.8.9.1 Geometría

Un lecho de secado típico debe ser diseñado para retener en una o más secciones, el volumen total del lodo removido del digestor. Los elementos estructurales del lecho incluyen los muros laterales, tuberías de drenaje.

Los muros laterales deben tener un borde libre entre 0,5 a 0,9 m por encima de la arena. Debe asegurarse que no existan filtraciones laterales a través de los muros separadores. (RAS, 2000)

1.8.9.2 Mantenimiento de lecho

Adecuación del lecho de secado: Se requiere tomar las siguientes condiciones antes de cada descarga de lodo seco.

- El aspecto del lodo deshidratado con humedad no más del 70% es quebradizo, de apariencia esponjosa y de fácil remoción.
- Retirar toda vegetación ajena al lecho, escarificar o remover la arena antes de cualquier adición de lodo, pues, reduce la compactación de la arena para mejorando las capacidad de filtración.

Adecuación de la capa de arena: La arena debe ser reemplazada hasta obtener el espesor original cada vez que se remueva el lodo seco, motivo por el cual se pierde una cierta parte de la capa de arena. La arena que se utilice para reponer el espesor original debe ser de la misma característica que la especificada en su construcción.

Remoción del lodo seco: El retiro de lodo se realiza cuando se deja secar hasta el 70% y 60% de humedad pero llegar al 40% de humedad será la mitad o tercera parte y de fácil manejo. El utensilio con el cual se remueve el lodo con tridentes o pala. (RAS, 2000)



Figura 30-1 Lecho de secado

Fuente: <http://www.siamltda.com/wp-content/uploads/2015/06/lechos1.jpg>

Realizado por: Martha Quindigalle

- Carga en fusión a la contribución per cápita de sólidos en suspensión, ($C, Kg_{SS}/día$)

$$C = \frac{Pf * \text{contribución per cápita}}{1000}$$

Ecuación 70

- Masa de los sólidos que conforman los lodos, ($M_{sd}, Kg_{SS}/día$)

$$M_{sd} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C)$$

Ecuación 71

- Volumen diario de lodos digeridos, (V_{LD}, m^3)

$$V_{DL} = \frac{M_{sd}}{\rho_{lodo} \left(\frac{\%sólidos}{100} \right)}$$

Ecuación 72

- Volumen de lodos a extraerse del tanque, (V_{EL}, m^3)

El tiempo requerido para la digestión de lodo se encuentra en relación a la temperatura como se describe en la siguiente Tabla 18-1

$$V_{EL} = \frac{V_{LD} * t_{DE}}{1000}$$

Ecuación 73

Tabla 18-1 Tiempo requerido para digestión del lodo

Temperatura °C	Tiempo de digestión (días)
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

Fuente: (OPS/CEPIS/05.163)

- Área del lecho de secado, (A_{LS}, m^2)

La profundidad del lodo que va depositarse en el lecho de secado es de 0,20 a 0,40 m según OPS/CEPIS 05,163, tomando un valor de 0, 25m para una mejor deshidratación y remoción del lodo.

$$A_{LS} = \frac{V_{LE}}{H_d}$$

Ecuación 74

- Longitud del lecho de secado, (L_{LS}, m)

$$L_{LS} = \frac{A_{LS}}{b_{LS}}$$

Ecuación 75

- Volumen del tanque para lodos, (V_{TL}, m^3)

El ancho del lecho de secado esta entre 3 y 6 m según OPS/CEPIS 05,163, si en caso fuese una planta de mayor tamaño el ancho puede llegar a 10 m.

$$V_{TL} = L_{LS} * b_{LS} * H_d$$

Ecuación 76

- Intervalo de tiempo para desalojar el lodo, ($T_{DL}, días$)

$$T_{DL} = \frac{V_{TL}}{Q_{max.d}}$$

Ecuación 77

CAPÍTULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Lugar de investigación

2.1.1 Localización geográfica

La población del Caserío el Topo se encuentra a 33 km de la Ciudad de Baños de Agua Santa en la vía que conduce a la ciudad del Puyo, capital de la provincia de Pastaza.

2.1.1.1 Macrolocalización

Cuadro 1-2 Localización geográfica del Caserío El Topo

País:	Ecuador
Provincia:	Tungurahua
Cantón:	Baños de Agua Santa
Parroquia:	Río Negro
Sector:	Caserío el Topo

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

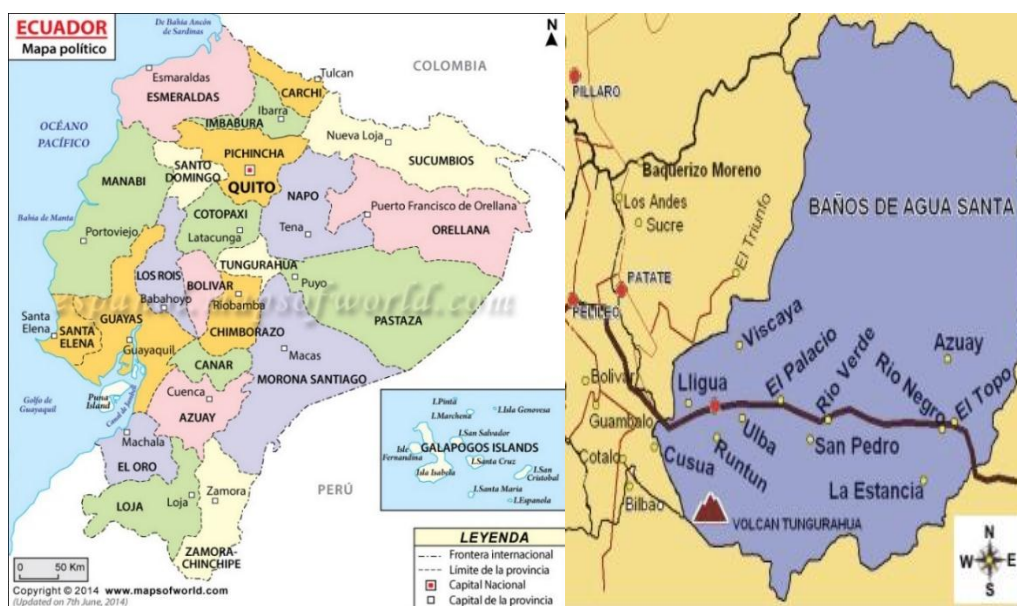


Figura 31-2 Localización del Caserío El Topo

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

2.1.1.2 Microlocalización

La comunidad El Topo, está situado en:

Latitud: 9844425 N
Longitud: 812700 E
Altitud: 1246 msnm.

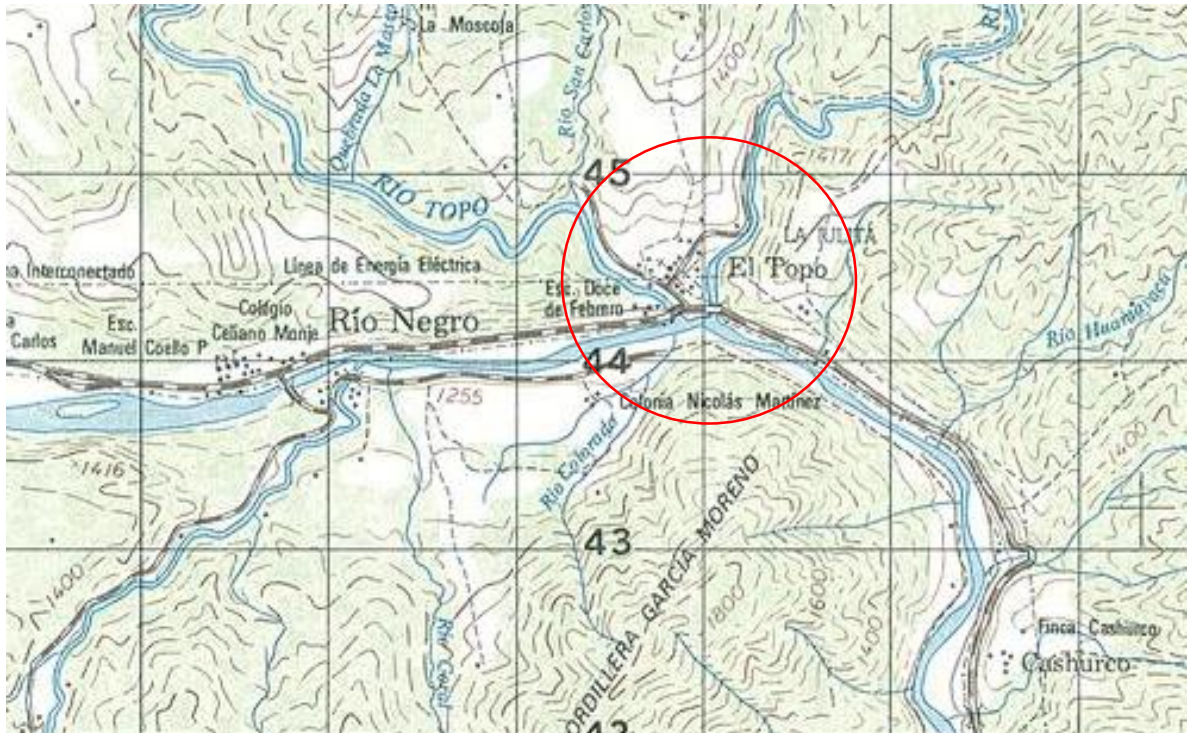


Figura 32-2 Vista topográfica del Caserío El Topo, cantón Baños de Agua Santa, provincia de Tungurahua

Fuente: (Memoria Técnica El Topo)

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

El lugar tiene un clima húmedo-subtropical con una temperatura de 21°C (media multianual), bosque muy húmedo Pre montano, del mapa bioclimático del Ecuador.

La precipitación promedio anual bordea los 4000 mm con máximos en marzo, abril, mayo, junio y octubre, y mínimos en enero, agosto y diciembre, la información corresponde al sector del Puyo, que es la estación meteorológica más cercana, el régimen de lluvias y clima de Río Negro - El Topo es muy parecido.

El poblado se asienta en la margen izquierda del Río Pastaza, en una pequeña planicie de aproximadamente 30 hectáreas, la misma que mantiene una pendiente en el mismo sentido que el río lo cual facilita la evacuación y descarga de las aguas servidas y lluvias.



Figura 33-2 Microlocalización del Caserío El Topo

Fuente: (Google Map)

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

– Estudios topográficos

De acuerdo a la topografía del sector donde se desarrolla el Proyecto corresponde a una zona rural montañosa con vegetación selvática en sus inmediaciones.

La población a intervenir tiene calles que se desarrollan en topografía ondulada. Limita al Norte con Montañas de vegetación selvática, al Sur con el Río Pastaza al Este con Montañas de vegetación selvática y la vía Baños Puyo y al Oeste con el Río Topo.

Los estudios topográficos realizados arrojan lo siguiente:

- La cota más alta en la población de El Topo está es de 1244.46 msnm.
- La cota en el sitio escogido para la Planta de Tratamiento corresponde a 1196.39 msnm.
- El área levantada y destinada a la Planta de Tratamiento es de 200 m².
- El área total de levantamiento topográfico es de 9.82 Ha.
- La longitud total de nivelación es de 2588.22 m

– Estudio Pluvia

El presente estudio se realiza en base a la información proporcionada por el INAMHI en lo referente a intensidades máximas en 24 horas y a las ecuaciones representativas para la Zona 29 que corresponde a la zona de estudio.

Clima: El clima de la zona es cálido húmedo, sin embargo existen variaciones por las lluvias, teniendo mucha importancia el fenómeno del niño y la corriente de Humboldt.

En general la comunidad El Topo goza de un clima templado con una temperatura media de 21°C, con una máxima de 27°C y una mínima de 17°C.

La zona tiene una pluviosidad que está determinada por seis meses de invierno moderado, con lluvias intensas y breves, con un promedio de precipitación de 3000 milímetros anuales. Los meses de menor precipitación son desde octubre hasta marzo.

La humedad relativa en la zona tiene un promedio de 90% variando desde 58% hasta 99% durante los meses desde mayo a noviembre (Mapa Bioclimático Del Ecuador, Memoria Técnica El Topo, 2015).

– *Geología*

El terreno está conformada de Rocas metamórficas paleozoicas afloran debajo de la mayor parte del área. En la Cordillera están cubiertas en parte por rocas volcánicas del Terciario Superior o Cuaternario. En el Oriente existe una secuencia gruesa de rocas sedimentarias marinas y continentales, que van desde el Cretáceo hasta el Terciario Superior, cubiertas por terrazas y depósitos aluviales de edad plio-cuaternaria. Aflora la parte sur del intrusivo granítico del Abitagua (Memoria Técnica El Topo, 2015).

– *Hidrografía*

La población de El Topo se encuentra en las márgenes del río Topo y Pastaza. La cuenca de estos ríos es de gran importancia por su potencial hidroeléctrico, pues es alimentada por gran cantidad de corrientes de agua que aumentan su volumen y hacen que el caudal del río sea muy considerable de la formación de este, aguas arriba se tiene la central hidroeléctrica Agoyán misma que turbinas sus aguas luego de embalsar las mismas y 13,5 km hacia abajo en el sector San Francisco se tiene la central del mismo nombre que produce energía de las aguas embalsadas y turbinadas de Agoyán, al momento se encuentran en plenos trabajos de reparación de la central San Francisco y en ella trabajan varias personas de la localidad (Memoria Técnica El Topo, 2015).

– *Flora*

En El Topo por su ecosistema existe una gran variedad de especies propias de la zona, el clima húmedo-subtropical montañoso permite el cultivo de productos que consta en la Memoria Técnica El Topo.

Cuadro 2-2 Cultivo del área

Nombre común	Nombre científico	Familia
Naranjilla	<i>Solanum quitoense Lam</i>	Solanáceas
Mandarina	<i>citrus nobili, clementina, reshni,</i> etc.	Rutáceas
Limón	<i>Citrus aurantifolia</i>	Rutáceas
Guayaba	<i>Inga spp.</i>	Fab-Mimo
Guaba	<i>Inga skutchii</i>	Fabaceae
Caña	<i>Saccharum officinarum</i>	Gramíneas
Plátano	<i>Musa paradisiaca,</i> <i>Musa cavendishii</i>	Musaceae
Camote	<i>Ipomea batatas</i>	Convolvulaceae
Papaya	<i>Carica papaya</i>	Caricaceae

Fuente: (Memoria Técnica El Topo, Estudio De Impacto Ambiental)

El Topo es rica en una variedad de especies que se describe en el cuadro 3-2

Cuadro 3-2 Cobertura Vegetal

Nombre común	Nombre científico	Familia
Canelo	<i>Drimys winteri</i>	Winteraceae
Pigue	<i>Pollalesta discolor</i>	Asteraceae
Cedro	<i>Cedrela spp.</i>	Meliaceae
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae
Balsa	<i>Ochroma spp.</i>	Bombacaceae
Orquídeas	<i>Elleanthus ruizii, Bulbophyllum</i> spp., <i>Stanhopea</i> spp.	Orchidaceae
Platanillo	<i>Heliconia bihai</i>	Heliconiaceae
Pasto miel	<i>Paspalum dilatatum</i>	-
Ortiga	<i>Urtica dioica</i>	Urticaceae
Chonta	<i>Bactris gasipaes</i>	Arecáceas
Colca	<i>Miconia crocea</i>	Melastomataceae
Guabillo	<i>Inga marginata</i>	Fab-Mimo

Fuente: (Memoria Técnica El Topo, Estudio De Impacto Ambiental)

– Fauna

La fauna del lugar por su actividad económica, se caracteriza por la ganadería (ganado vacuno), y en cuanto a la fauna exótica se puede apreciar desde insectos, aves, reptiles y mamíferos.

Las aves que abundan el sector son:

Cuadro 4-2 Aves del área

Nombre común	Nombre científico	Familia
Pavas de monte	<i>Penélope obscura</i>	Cracidae
Gallo de peña	<i>Rupicola peruviana</i>	Cotingidae

Fuente: (Memoria Técnica El Topo, Estudio De Impacto Ambiental)

Cabe resaltar que se puede encontrar especies de aves de la familia Psittacidae, loros o papagayos, los guacamayos, las cotorras, los periquitos, los agapornis y formas afines.

Los mamíferos y roedores que abundan el sector son:

Cuadro 5-2 Otras especies del área

Nombre común	Nombre científico	Familia
Danta	<i>Tapirus bairdii</i>	Tapiridae
Tejón	<i>Meles meles</i>	Mustélidos
Guatusa	<i>Dasyprocta punctata</i>	Dasyproctidae
Tigrillo	<i>Leopardus tigrinus</i>	Felidae
Raposa	<i>Marmosa spp.</i>	Didelphidae
Comadreja	<i>Mustela nivalis</i>	Mustélidos
Ratón común	<i>Mus musculus</i>	Múridos

Fuente: (Memoria Técnica El Topo, Estudio De Impacto Ambiental)

Los insectos que se evidencian son: díptera (moscos y mosquitos), lepidóptera (mariposas), himenóptera (abejas). Encontramos también primates de la familia cebidae y callitrichidae y reptiles como lagartijas, culebras y sapos, entre los principales (Memoria Técnica El Topo, Estudio de Impacto Ambiental, 2015).

2.2 Metodología

2.2.1 Reconocimiento del lugar de investigación

En la investigación se realizó un recorrido previo al muestreo y monitoreo del caudal, después de entablar un diálogo con los habitantes del lugar se dio a conocer que el alcantarillado fue construido por la propia comunidad en conjunto con la Junta Parroquial, pero en la actualidad, cuentan con un alcantarillado elaborado e implementado en base a estudios técnicos de acuerdo a las normas establecida para su construcción, y en cuanto al seguimiento de la línea del alcantarillado, el agua residual se descarga a través de un tubo de PVC a la por gravedad a la altura del Río Topo que finalmente se une a los caudales del Río Pastaza.

2.2.2 Periodo de diseño

El diseño de un Sistema de Tratamiento de aguas residuales, requiere de un tiempo estimado de vida útil de 20 a 30 años, establecida por la norma INEN 005-9-1 (1992), es por ello, que los datos otorgados por el GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTÓN BAÑOS DE AGUA SANTA, Dirección de Saneamiento Ambiental, Memoria Técnica, tienen como base un periodo de diseño de 25 años. (Memoria Técnica El Topo, 2015)

2.2.3 Población actual

Para la estimación de la cantidad de habitantes en el Caserío el Topo se han realizado los recuentos poblacionales in situ, se obtuvo para la comunidad El Topo una población actual de 80 familias con un promedio de 5 personas por familia dando un número de 400 habitantes y un cálculo de población futura de 550 Habitantes. (Consta en el análisis financiero).

En el año 2001 la Cabecera Parroquial contaba con 829 habitantes, en la actualidad, según el recuento poblacional es de 400 habitantes, es decir, en los últimos cinco años, la población ha decrecido en un 60 %. (Memoria Técnica El Topo, 2015)

2.2.4 Datos experimentales

2.2.4.1 Selección de la muestra

La selección de la muestra se determinó por muestra simple y consecutivamente una mezcla de para obtener una muestra compuesta de acuerdo a la norma NTE INEN 2176 (1998) (Spanish): Agua. Calidad del agua. Manejo y conservación de muestras.

El muestreo se realizó tomando en cuenta las condiciones climáticas del lugar durante un periodo de 7 días cuya muestra representativa fue de 500 ml.

Tabla 19-2 Muestreo de aguas residual en condiciones críticas de lluvia y calor

Condiciones climática	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
CALOR	9:45am	11:10am	10:20am		9:17am	10:45am	8:15am
LLUVIA	12:30pm	8:00am		7:31am	14:20pm		10:45am
CALOR		4:30pm	13:37pm			12:12pm	
LLUVIA	5:00pm		3:00 pm	2:40pm		15:28pm	16:02pm

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

2.2.4.2 Caracterización de aguas residuales

El agua residual de muestra compuesta del Caserío El Topo se dejó en el Laboratorio de Servicios Ambientales (UNACH) acreditado por el OAE con la acreditación No. OAE LE C12-006 y en el Laboratorio de Análisis Técnico (ESPOCH).

Tabla 20-2 Análisis físico - químico y microbiológico del agua residual del Caserío El Topo en condiciones críticas de calor

Parámetro	Unidades	Resultado	TUSLMA/tabla 10
Ph	-	7,16	5-9
Sólidos Totales	mg/l	176	1600
Sólidos Suspendidos	mg/l	9	80,0
Sulfatos	mg/l	3	1000
Nitrógeno Total	mg/l	13,2	50,0
Fósforo Total	mg/l	0,23	10,0
Sólidos Sedimentables	mg/l	0,4	-
Aceites y Grasas	mg/l	29	30,0
Detergente	mg/l	2	0,5
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /l	54	-
Cloro libre residual	mg Cl ₂ /l	0,17	0,5
DBO ₅	mg O ₂ /l	86	50,0

DQO	mg/l	120	100,0
Coliformes Totales	UFC/100 ml	2050	Remoción >al 99%
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	510	-

Fuente: (Laboratorio De Servicios Ambientales UNACH, 2015)

Tabla 3-2 Análisis físico - químico y microbiológico del agua residual del Caserío El Topo en condiciones críticas de lluvia

Parámetro	Unidades	Resultado	TUSLMA/Tabla 10
Nitrógeno Total	mg/l	9,7	50,0
Fósforo Total	mg/l	0,86	10,0
Aceites y Grasas	mg/l	21	30,0
Detergente	mg/l	1,9	0,5
Coliformes Totales	UFC/100 ml	2100	Remoción >al99%
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	620	-

Fuente: (Laboratorio De Servicios Ambientales UNACH, 2015)

Tabla 4-2 Análisis físico - químico y microbiológico del agua residual del Caserío El Topo en condiciones críticas de lluvia

Determinaciones	Unidades	Resultado	TUSLMA/Tabla 10
Ph	-	7,5	5-9
Alcalinidad	mg/L	100	-
DQO	mg/L	162	100,0
DBO ₅	mg/L	64	50,0
Sólidos Sedimentables	mg/L	2,5	-
Sólidos Totales	mg/L	404	1600
Sólidos Suspendidos	mg/L	25	80,0
Sulfatos	mg/L	56,0	1000

Fuente: (Laboratorio De Análisis Técnico ESPOCH, 2015)

2.2.4.3 Pruebas de tratabilidad

– Índice de Biodegradabilidad

La selección de un humedal artificial dependía del nivel de biodegradabilidad de los compuestos presentes en el agua residual, los parámetros DBO₅ y DQO permitieron esclarecer si el uso de humedales artificiales como método biológico sería viable para obtener agua trata para una comunidad de población pequeña.

El objetivo es reducir el uso de químicos y la posibilidad de optar un tratamiento natural, aunque esto no se cumple en un 100 %, porque persisten compuestos como los Tensoactivos difíciles de remover que requieren la ayuda de químicos (coagulante) para su disminución.

El índice de biodegradabilidad representa la naturaleza del efluente entonces:

La relación de DQO/DBO₅ = 1,5 materia orgánica muy degradable y requiere de un tratamiento biológico.

La relación de DQO/DBO₅ = 2 materia orgánica moderadamente biodegradable, un valor que permite cuestionar la selección de un tratamiento biológico.

La relación de DQO/DBO₅ = 10 materia orgánica poco degradable, es un hecho que será viable un tratamiento físico-químico.

La caracterización del agua residual descrita en la Tabla 4-2 y 2-2, nos indica que los parámetros iniciales analizadas tanto el DBO₅ y el DQO se encuentra fuera de normas (TULSMA, Normas de Calidad y Descarga de Efluentes: Libro VI, Anexo 1, Tabla 10, versión actualizada), lo que nos permite evaluar el índice de biodegradabilidad.

Tabla 5-2 Parámetros para evaluar el índice de biodegradabilidad

Parámetro	Unidad	Resultado	TULSMA/Tabla 10
DBO ₅	mg O ₂ /l	86	50,0
DQO	mg/l	120	100,0

Fuente: (Laboratorio De Servicios Ambientales UNACH, 2015)

Considerando el índice de biodegradabilidad DQO/DBO₅:

$$\frac{DQO}{DBO_5} = \frac{120 \text{ mg/L}}{86 \text{ mg/L}}$$

$$\frac{DQO}{DBO_5} = 1,4$$

Entonces, la relación DQO/DBO₅=1,4 indica que los compuestos del efluente son de naturaleza biodegradable de fácil depuración biológica, dicho valor se encuentra en el rango de **1,5** que permite el uso de un tratamiento biológico a través de humedales artificiales.

Tabla 6-2 Tratabilidad del DBO y DQO con vegetación emergente

Vegetación	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Tiempo (días)
Sin Tratamiento			
Sin vegetación	86	120	0
Con Tratamiento			
Jacinto	37	75	7
Junco	18	33	7

Fuente: (Laboratorio de Análisis Técnico ESPOCH, 2015)

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

– *Test de Jarra*

Los Tensoactivos son compuestos difíciles de remover, para su eliminación se utilizan varios métodos expuestos en el Capítulo I, la mejor opción para tratarlos es con filtro verde (humedales artificiales), y coagulantes que son menos contaminante que cualquier otro método y no provocan espuma que cause daños en los sistemas de tratamiento.

Todo tipo de productos de limpieza terminan vertidos en los recursos hídricos o medios acuáticos que genera la proliferación de algas por la acumulación de residuos orgánicos. Los coagulantes usados en la prueba de jarra son el policloruro de aluminio (PAC) y el sulfato de aluminio donde se determinó que el PAC es el coagulante más efectivo, al contrario del sulfato de aluminio que aumenta la turbiedad del agua y disminuye el pH dando como resultado valores inconsistentes.

Tabla 7-2 Tratabilidad con coagulantes para la remoción de detergentes

TEST DE JARRA		
Sulfato de aluminio 3%, rango de pH inicial 7,6 y Turbiedad inicial 15,16 UNT		
Dosificación (ml)	pH	Turbiedad
1	7,06	17,4
2	6,96	19,2
3	5,82	26
3	5,34	26
4	4,6	27,5
5	4,29	26,2
Policloruro de aluminio (PAC) 5%, rango inicial de pH 7,20 y turbiedad inicial 15, 15 UNT		
1	7,6	8,8
2	7,28	4,9
3	8,26	189

Fuente: (Laboratorio De Análisis Técnico ESPOCH, 2015)

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

– *Trampa de grasa*

La trampa de grasa que se menciona en el Capítulo I nos indica que se puede reducir el contenido de aceites y grasas por diferencia de densidades, este método de remoción es un proceso físico.

La tratabilidad con la trampa de grasa era que, el agua residual ingrese al humedal en un estado más limpio y permita que la vegetación emergente reduzca al máximo los detergentes contenidos en el agua residual y de acuerdo a los resultados enviados tenemos lo siguiente:

Tabla 8-2 Resultados de los parámetros luego de la tratabilidad con la trampa de grasa y humedal artificial

Parámetro	Unidades	Resultado	TULSMA/Tabla 10
Aceites y Grasas	mg/l	8,9	30,0
Detergente	mg/l	0,8	0,5
DQO	mg/L	21	100,0
DBO5	mg/L	74	50,0

Fuente: (Laboratorio De Servicios Ambientales UNACH, 2015)

Los resultados evidencian que no todos los parámetros pueden ser removidos con facilidad, el detergente es un claro ejemplo que requiere de la ayuda de un químico para su remoción o reducción al máximo para que el ecosistema lo disuelva de forma natural al ser liberada en medios acuáticos.

2.2.4.4 Monitoreo del Caudal

La medición del caudal se realizó por el método volumétrico mediante el uso de implementos como un recipiente con capacidad de 10 L y un cronómetro. Con volumen conocido se mide el tiempo que se tarda en llenar el recipiente. El monitoreo del caudal se organizó durante los 7 días de la semana, de 7:00 am a 18:00 pm, cada 60 min en un periodo de 12 horas por día.

Tabla 921-2 Medición del caudal del día lunes

°N muestras	Hora	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)	Caudal (m ³ /s)
1	7:00 AM	10	7,23	1,383	0,00138
2	8:00 AM	10	6,21	1,610	0,00161

3	9:00 AM	10	6,9	1,449	0,00145
4	10:00AM	10	6,6	1,515	0,00152
5	11:00AM	10	6,3	1,587	0,00159
6	12:00PM	10	7,1	1,408	0,00141
7	1:00 PM	10	6,46	1,548	0,00155
8	2:00 PM	10	7,27	1,376	0,00138
9	3:00 PM	10	8,2	1,220	0,00122
10	4:00 PM	10	6,5	1,538	0,00154
11	5:00 PM	10	7,42	1,348	0,00135
12	6:00 PM	10	6,26	1,597	0,00160
			Caudal medio	1,465	0,00147
			Caudal mínimo	1,220	0,00122
			Caudal máximo	1,610	0,00161

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Tabla 10-2 Medición del caudal del día martes

°N muestras	Hora	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)	Caudal (m ³ / s)
1	7:00 AM	10	7,11	1,406	0,00141
2	8:00 AM	10	9,7	1,031	0,00103
3	9:00 AM	10	9,33	1,072	0,00107
4	10:00AM	10	8,34	1,199	0,00120
5	11:00AM	10	8,76	1,142	0,00114
6	12:00PM	10	9,18	1,089	0,00109
7	1:00 PM	10	8,68	1,152	0,00115
8	2:00 PM	10	8,28	1,208	0,00121
9	3:00 PM	10	6,38	1,567	0,00157
10	4:00 PM	10	8,58	1,166	0,00117
11	5:00 PM	10	7,72	1,295	0,00130
12	6:00 PM	10	9,26	1,080	0,00108
			Caudal medio	1,201	0,00120
			Caudal mínimo	1,031	0,00103
			Caudal máximo	1,567	0,00157

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Tabla 11-2 Medición del caudal del día miércoles

°N muestras	Hora	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)	Caudal (m ³ /s)
1	7:00 AM	10	8,16	1,225	0,00123
2	8:00 AM	10	8,44	1,185	0,00118
3	9:00 AM	10	9,32	1,073	0,00107

4	10:00AM	10	7,75	1,290	0,00129
5	11:00AM	10	8,96	1,116	0,00112
6	12:00PM	10	8,89	1,125	0,00112
7	1:00 PM	10	8,61	1,161	0,00116
8	2:00 PM	10	8,79	1,138	0,00114
9	3:00 PM	10	4,23	2,364	0,00236
10	4:00 PM	10	4,21	2,375	0,00238
11	5:00 PM	10	5,12	1,953	0,00195
12	6:00 PM	10	5,45	1,835	0,00183
			Caudal medio	1,487	0,00149
			Caudal mínimo	1,073	0,00107
			Caudal máximo	2,364	0,00236

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Tabla 12-2 Medición del caudal del día jueves

°N muestras	Hora	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)	Caudal (m³/s)
1	7:00 AM	10	10,86	0,921	0,00092
2	8:00 AM	10	11,57	0,864	0,00086
3	9:00 AM	10	9,74	1,027	0,00103
4	10:00AM	10	9,8	1,020	0,00102
5	11:00AM	10	10,77	0,929	0,00093
6	12:00PM	10	10,8	0,926	0,00093
7	1:00 PM	10	9,9	1,010	0,00101
8	2:00 PM	10	11,01	0,908	0,00091
9	3:00 PM	10	9,93	1,007	0,00101
10	4:00 PM	10	9,84	1,016	0,00102
11	5:00 PM	10	10,81	0,925	0,00093
12	6:00 PM	10	10,19	0,981	0,00098
			Caudal medio	0,961	0,00096
			Caudal mínimo	0,864	0,00086
			Caudal máximo	1,027	0,00103

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Tabla 13-2 Medición del caudal del día viernes

°N muestras	Hora	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)	Caudal (m³/s)
1	7:00 AM	10	6,55	1,527	0,00153
2	8:00 AM	10	7,6	1,316	0,00132
3	9:00 AM	10	6,35	1,575	0,00157

4	10:00AM	10	8,15	1,227	0,00123
5	11:00AM	10	9,74	1,027	0,00103
6	12:00PM	10	9,17	1,091	0,00109
7	1:00 PM	10	10,17	0,983	0,00098
8	2:00 PM	10	10,25	0,976	0,00098
9	3:00 PM	10	9,96	1,004	0,00100
10	4:00 PM	10	9,07	1,103	0,00110
11	5:00 PM	10	10,74	0,931	0,00093
12	6:00 PM	10	11,29	0,886	0,00089
			Caudal medio	1,137	0,00114
			Caudal mínimo	0,880	0,00088
			Caudal máximo	1,527	0,00153

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Tabla 14-2 Medición del caudal del día sábado

°N muestras	Hora	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)	Caudal (m ³ /s)
1	7:00 AM	10	9,19	1,088	0,00109
2	8:00 AM	10	9,71	1,030	0,00103
3	9:00 AM	10	9,55	1,047	0,00105
4	10:00AM	10	10,36	0,965	0,00097
5	11:00AM	10	10,82	0,924	0,00092
6	12:00PM	10	11,21	0,892	0,00089
7	1:00 PM	10	9,24	1,082	0,00108
8	2:00 PM	10	10,01	0,999	0,00100
9	3:00 PM	10	9,34	1,071	0,00107
10	4:00 PM	10	8,26	1,211	0,00121
11	5:00 PM	10	8,36	1,196	0,00120
12	6:00 PM	10	8,41	1,189	0,00119
			Caudal medio	1,058	0,00106
			Caudal mínimo	0,892	0,00089
			Caudal máximo	1,196	0,00120

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Tabla 15-2 Medición del caudal del día domingo

°N muestras	Hora	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)	Caudal (m ³ /s)
1	7:00 AM	10	7,36	1,359	0,00136
2	8:00 AM	10	7,87	1,271	0,00127
3	9:00 AM	10	7,69	1,300	0,00130

4	10:00AM	10	8,5	1,176	0,00118
5	11:00AM	10	8,08	1,238	0,00124
6	12:00PM	10	8,32	1,202	0,00120
7	1:00 PM	10	8,01	1,248	0,00125
8	2:00 PM	10	7,67	1,304	0,00130
9	3:00 PM	10	8,37	1,195	0,00119
10	4:00 PM	10	7,48	1,337	0,00134
11	5:00 PM	10	7,44	1,344	0,00134
12	6:00 PM	10	8,16	1,225	0,00123
			Caudal medio	1,267	0,00127
			Caudal mínimo	1,176	0,00118
			Caudal máximo	1,359	0,00136

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Tabla 16-2 Caudal semanal

Día	Caudal (L/s)	Caudal (m^3/s)
Lunes	1,465	0,00147
Martes	1,201	0,00120
Miércoles	0,961	0,00096
Jueves	0,961	0,00096
Viernes	1,137	0,00114
Sábado	1,058	0,00106
Domingo	1,267	0,00127

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Tabla 17-2 Caudal horario

Caudal	Valor	Simbología	Unidad
Caudal mínimo	1,220	$Q_{min.horario}$	L/s
Caudal medio	1,487	$Q_{med.horario}$	L/s
Caudal máximo	2,364	$Q_{max.horario}$	L/s

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

CAPÍTULO III

3 CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1 Cálculos

3.1.1 Cálculo de la población futura

Los datos para el cálculo de la población futura están basados en la información recolectada de la MEMORIA TÉCNICA EL TOPO.

Condiciones	Valor	Simbología	Unidad
Población actual	400	P_a	<i>hab</i>
Tasa de crecimiento	4	r	%
Periodo de tiempo	25	n	<i>años</i>

Para estimar la población futura se toma la ecuación 1

$$Pf = 400 * \left(1 + \frac{4}{100}\right)^{25}$$

Donde:

Pf = Población futura (*hab*)

P_a = Población actual (*hab*)

r = Tasa de crecimiento anual (%)

n = Periodo de diseño (*años*)

$$Pf = 1066,34 \text{ hab}$$

$$Pf = 1067 \text{ hab}$$

3.1.2 Cálculos del caudal

– Cálculo del caudal medio teórico con la ecuación 2, ($Q_{med.teo}, L/s$)

Según la Memoria técnica el Topo, del Departamento de Saneamiento Ambiental, la dotación de agua potable para población Caserío el Topo es de $140 L/hab. día$ y un coeficiente de retorno de 70% a 80% establecido por EX-IEOS.1993.

$$Q_{med.teo} = \frac{CR * Dt * Pf}{86400}$$

Donde:

CR = Coeficiente de retorno (%)

Dt = Dotación de agua potable ($L/hab.día$)

Pf = Población futura (hab)

$$Q_{med.teo} = \frac{0,80 * 140 L/hab.día * 1067 hab}{86400}$$

$$Q_{med.teo} = 1,38 L/s$$

– Cálculo del coeficiente de Mayorización con la ecuación 3, (M , *adimensional*)

La población futura o de diseño es de 1067 habitantes, en tanto que, la ecuación de Harmon es válido por lo que, el número de habitantes supera los 1000 habitantes.

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{Pf}{100}}}$$

Donde:

M = Coeficiente de simultaneidad (*adimensional*)

Pf = Población futura (hab)

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{1067}{100}}}$$

$$M = 2,93$$

– Cálculo del caudal máximo teórico con la ecuación 4, ($Q_{max.teo}$, L/s)

$$Q_{max.teo} = M * Q_{med.horario}$$

Donde:

M = Coeficiente de simultaneidad (*adimensional*)

$Q_{med.horario}$ = Caudal medio horario (m^3/s)

$$Q_{max.teo} = 2,93 * 1,487 L/s$$

$$Q_{max.teo} = 4,35 L/s$$

– Cálculo del caudal de diseño

■ Caudal medio de diseño con la ecuación 5, ($Q_{med.d}$, $\frac{L}{s}$)

El caudal de infiltración se toma como valor máximo de 2 L/s , cuando no existe un estudio previo durante la construcción del alcantarillado.

$$Q_{med.d} = \frac{Q_{med.horario} + Q_{med.teo}}{2} + Q_{in}$$

$$Q_{med.d} = \frac{(1,487 + 1,38) \text{ L/s}}{2} + 2 \text{ L/s}$$

$$Q_{med.d} = 3,43 \text{ L/s}$$

- Caudal máximo de diseño con la ecuación 6, ($Q_{max.d}, \text{L/s}$)

$$Q_{max.d} = \frac{Q_{max.horario} + Q_{max.teo}}{2} + Q_{in}$$

$$Q_{max.d} = \frac{(2,364 + 4,35) \text{ L/s}}{2} + 2 \text{ L/s}$$

$$Q_{max.d} = 5,36 \text{ L/s}$$

3.1.3 Dimensionamiento de un canal rectangular-vertedero

- Cálculo del radio hidráulico con la ecuación 8, (RH, m)

Los datos tomados de la Tabla 1-1 para un canal rectangular revestido son de 0,50 m de ancho del canal y 0,40 m de altura de agua en el canal.

$$RH = \frac{b * h}{b + 2h}$$

Donde:

h = Altura máxima del agua en el canal (m)

b =Ancho del canal (m). Tabla 1-1

$$RH = \frac{(0,50 * 0,40) \text{ m}^2}{0,50 \text{ m} + 2(0,40 \text{ m})}$$

$$RH = 0,15 \text{ m}$$

- Cálculo de la velocidad media del canal con la ecuación 9, ($v, m/s$)

El coeficiente de Manning es 0,015 de hormigón de paredes rugosas tomada de la Tabla 3-1 y una pendiente de 0,02% para canales abiertos con revestimiento.

$$v = \frac{1}{n} RH^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

RH = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente (%), canal rectangular revestido de hormigón Tabla 1-1

n = Coeficiente de rugosidad de Manning, Tabla 3-1

$$v = \frac{1}{0,015} (0,15m)^{2/3} (0,0002)^{1/2}$$
$$v = 0,27 \text{ m/s}$$

– Cálculo del área de la sección transversal del canal con la ecuación 10, (A, m^2)

$$A = \frac{Q_{max.d}}{v}$$

Donde:

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo de diseño (m^3/s)

v = Velocidad media del canal (m/s)

$$A = \frac{0,00536 \text{ m}^3/s}{0,27 \text{ m/s}}$$
$$A = 0,020 \text{ m}^2$$

– Cálculo de la altura máxima del agua en el canal con la ecuación 11, (h, m)

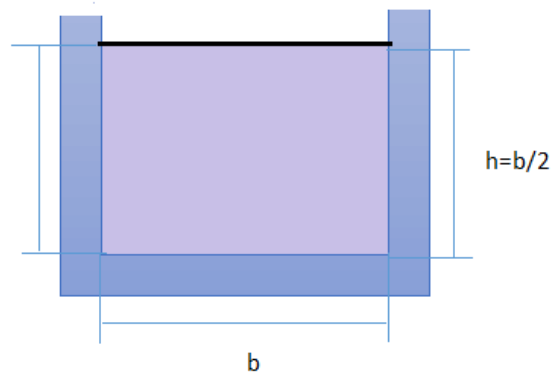


Figura 1-3 Esquema del canal de llegada
Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Para la dimisión de un canal abierto tenemos $h=b/2$, en tanto que, $b=2h$, entonces:

$$A = b * h$$

Donde:

h = Altura máxima del agua en el canal (m)

A = Área del canal (m^2)

b = Ancho del canal (m), Tabla 1-1

$$A = 2h * h$$

$$A = 2h^2$$

$$h = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$h = \sqrt{\frac{0,020 \text{ m}^2}{2}}$$

$$h = 0,1 \text{ m}$$

– Cálculo de la altura total del canal con la ecuación 12, (H, m)

De la Tabla 2-1 tomamos el valor de 0,30 como factor de seguridad para el borde libre del canal.

$$H = h + h_s$$

Donde:

H =Profundidad total del flujo de agua (m)

h =Altura máxima de agua en el canal (m)

h_s = Factor de seguridad (m), Tabla 2-1

$$H = (0,1 + 0,30)m$$

$$H = 0,40m$$

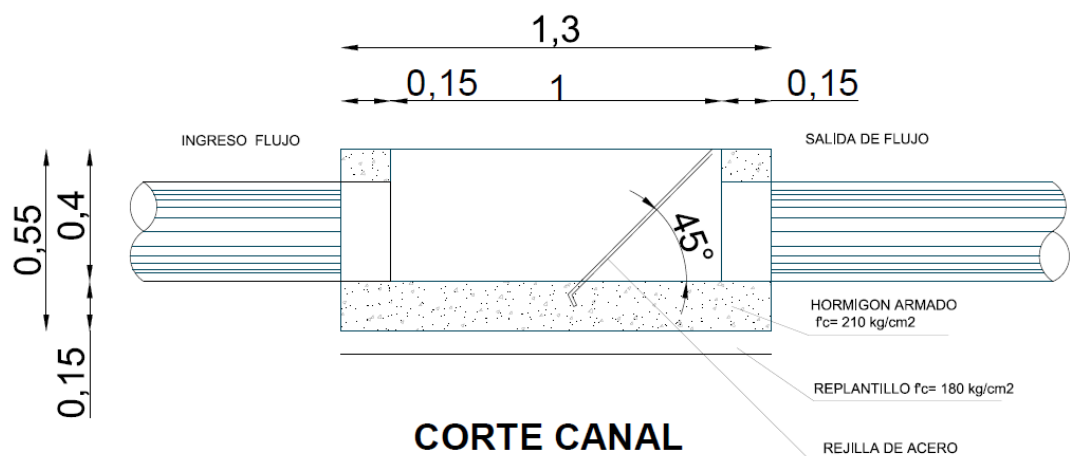


Figura 2-3 Canal diseñado
Realizado por: Martha Quindigalle 2015

3.1.4 Dimensionamiento de rejillas de limpieza manual

Los datos descritos son en relación a la Tabla 4-1:

Condiciones	Intervalo	Simbología	Unidad
Profundidad	0,025-0,0375	p	m
Velocidad mínima de aproximación	0,3-0,6	v	m/s
Pendiente	30-45	θ	$grados$
Separación entre barras	0,025-0,050	sp	m
Perdida de carga admisible	0,15	hc	m

- Cálculo del número de barras con la ecuación 13, (N_B)

Metcalf & Eddy, estable que para tener uniformidad en la distribución uniforme de sólidos en la reja, el valor adecuado es de 10 mm de espesor.

$$N_B = \frac{b - S_p}{e + S_p}$$

Donde:

b = Ancho del canal (m), Tabla 1-1

e = Espesor de barra (m),

S_p = Separación entre barras (m), Tabla 4-1

$$N_B = \frac{0,50 - 0,025}{0,01 + 0,025}$$

$$N_B \approx 14$$

- Cálculo de la longitud de las barra con la ecuación 14, (LB, m)

El grado de inclinación para la rejilla es de 45 grados propuesta en la Tabla 4-1.

$$LB = \frac{H}{\text{Sen}\theta}$$

Donde:

H = Profundidad total del canal (m), Tabla 4-1

θ = Pendiente de la rejilla (*grados*), Tabla 4-1

$$LB = \frac{0,40 \text{ m}}{\text{Sen}45}$$

$$LB = 0,56 \text{ m}$$

- Cálculo del nivel máximo de agua con la ecuación 15, ($N_{max.a}, m$)

Para la velocidad de aproximación del flujo se escoge un valor medio en relación al valor de 0,27 m/s para que exista un mayor contacto entre la superficie del agua con la rejilla y el valor escogido es de 0,10 m.

$$N_{max.a} = \frac{Q_{max.d}}{v * b}$$

Donde:

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo de diseño (m^3/s)

v = Velocidad de aproximación de flujo hacia las rejillas (m/s)

b = Ancho del canal (m), Tabla 1-1

$$N_{max.a} = \frac{0,00536 \text{ m}^3/s}{0,27 \text{ m/s} * 0,50 \text{ m}}$$

$$N_{max.a} = 0,11 \text{ m}$$

– Cálculo de la longitud sumergida de la rejilla con la ecuación 16, ($L_{sum.r}, m$)

$$L_{sum.r} = \frac{N_{max.a}}{\text{Sen}\theta}$$

Donde:

$N_{max.a}$ = Nivel máximo de agua (m)

θ = Pendiente en relación a la vertical (grados), Tabla 4-1

$$L_{sum.r} = \frac{0,11 \text{ m}}{\text{Sen}45}$$

$$L_{sum.r} = 0,15 \text{ m}$$

– Cálculo de pérdida de carga en la rejilla con la ecuación 17, (h_c, m)

El coeficiente de pérdida en la rejilla es seleccionada de acuerdo a la forma de dicha rejilla, para nuestro calculo los barrotes serán de $\beta = 1,79$, Tabla 5-1

$$h_c = \beta \left(\frac{e}{S_p} \right)^{3/2} \frac{v^2}{2g} \text{sen}\theta$$

Donde:

g = Gravedad (m/s^2)

β = Coeficiente de pérdida, Tabla 15-1

h_c = Pérdida de carga en la rejilla (adimencional)

e = Espesor de barra (m)

S_p = Separación entre barras (m)

v = Velocidad de aproximación del flujo hacia las rejillas (m/s)

θ = Pendiente en relación a la vertical (grados), Tabla 4-1

$$h_c = 1,79 \left(\frac{0,01 \text{ m}}{0,050 \text{ m}} \right)^{3/2} \frac{(0,45 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} \text{sen}45$$

$$h_c = 0,0012 \text{ m} < 0,15 \text{ m admisibles}^*$$

La pérdida de carga en la rejilla es de 0,0012 m, por consecuente es menor que el valor máximo admisible de 0,15 m según la Tabla 4-1

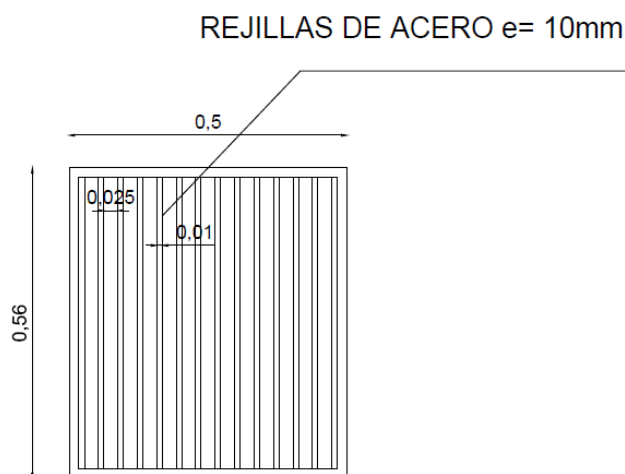


Figura 34-3 Rejillas diseñado
Realizado por: Martha Quindigalle 2015

3.1.5 Dimensionamiento del humedal subsuperficial de flujo horizontal

Los datos descritos son en relación a la Tabla 7-1:

Condiciones	Intervalo	Simbología	Unidad
Porosidad del material	30-35	N	%
Tamaño efectivo del material	8	—	$D_{10} \text{ (mm)}$
Conductividad hidráulico	500-5000	K_s	$m^3/m^2/d$
Profundidad del humedal	0,3-0,9	h	m

- Cálculo de la constante de velocidad de primer orden dependiente de la temperatura con ecuación tomada de la Tab10-1, (K_T , $días^{-1}$)

También conocida como constante de velocidad de reacción, donde $K_{20} = 1,104 \text{ d}^{-1}$. El factor de corrección de temperatura es de 1,056 valor considerado para una temperaturas entre 20 a 30 °C y 1,14 para temperaturas entre 4-20 °C, (Delfino Francia. P, <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/109.pdf>). La temperatura de T_2 de 23 °C del agua residual se hace referencia a una temperatura media del lugar de investigación de 21 °C como se contempla en la MEMORIA TÉCNICA EL TOPO.

$$K_T = K_{20} * (\phi)^{T_2-21}$$

Donde:

K_{20} = Constante de velocidad de reacción a la temperatura de 20 °C

T_2 =Temperatura del agua residual (°C)

ϕ = Factor de corrección por temperatura

$$K_T = 1,104 * (1,056)^{23-21}$$

$$K_T = 1,104 * (1,06)^{23-21}$$

$$K_T = 1,24 \text{ días}^{-1}$$

- Cálculo del área superficial del humedal artificial con ecuación tomada de la Tabla 10-1, (A_{SH} , m^2)

Según los datos experimentales obtenidos la concentración de DBO_5 son: $C_0=86$ mg/L del afluente y $C=18$ mg/L del efluente. Para la porosidad del material es de 35 % consta en la Tabla 7-1, en cuanto al caudal para nuestro diseño se toma el caudal mínimo 52,70 $m^3/día$, la profundidad estimada para humedal se escoge con respecto a la profundidad de las raíces y especie de la vegetación emergente utilizada, para nuestro respectivo cálculo se toma en consideración 0,76 de la especie *Scirpus* (junco), ver Tabla 9-1.

$$A_{SH} = \frac{Q_{min.horario} \ln \frac{C_0}{C}}{K_T * h_p * n}$$

Donde:

$Q_{min.horario}$ = Caudal mínimo horario (m^3/s), 52,70 $m^3/día$

C_0 = DBO del afluente (mg/L)

C = DBO del efluente (mg/L)

K_T = Constante de primer orden (d^{-1})

h_p = Profundidad del humedal (m), Tabla 9-1

n = Rugosidad del material (*adimensional*), Tabla 7-1

$$A_{SH} = \frac{52,70 \text{ m}^3/día \ln \left(\frac{86 \text{ mg/L}}{18 \text{ mg/L}} \right)}{1,24 \text{ días}^{-1} * 0,76 \text{ m} * 0,35}$$

$$A_{SH} = 249,88 \text{ m}^2$$

- Cálculo del área en la sección transversal del lecho con ecuación tomada de la Tabla 10-1, (A_{ST} , m^2)

La pendiente para humedales de flujo horizontal subsuperficial es 0,5%, y la conductividad hidráulica $K_s = 5000 \text{ m}^3/m^2 \text{ día}$, tomada de la Tabla 7-1.

$$A_{ST} = \frac{Q_{min.horario}}{K_s * S}$$

Donde:

$Q_{min.horario}$ = Caudal mínimo horario (m^3/s)

K_s = Conductividad hidráulica ($m^3/m^2 d$), Tabla 7-1

S = Pendiente del lecho del humedal (%)

$$A_{ST} = \frac{52,70 \text{ m}^3/\text{día}}{5000 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día} * 0,005}$$

$$A_{ST} = 2,11 \text{ m}^2$$

- Cálculo del ancho del humedal artificial con ecuación tomada de la Tabla 10-1, (F_H, m)

$$L_H = 2F_H$$

$$A_{SH} = L_H * F_H$$

$$A_{SH} = 2F_H * F_H$$

$$F_H = \sqrt{\frac{A_{SH}}{2}}$$

Donde:

A_{SH} = Área superficial del humedal (m^2)

$$F_H = \sqrt{\frac{249,88}{2}}$$

$$F_H = 11,178 \text{ m}$$

- Cálculo de la longitud del humedal artificial con ecuación tomada de la Tabla 10-1, (L_H, m)

$$L_H = 2F_H$$

Donde:

F_H = Ancho del humedal (m)

$$L_H = 2 (11,178 \text{ m})$$

$$L_H = 22,35 \text{ m}$$

El humedal tiene un área superficial de 249,88 m^2 , se quiere obtener 4 humedales para el sistema de tratamiento de aguas residuales, entonces tendremos cuatro humedales cada uno con un ancho de 5,54 m y un largo de 11, 278 m

- Cálculo del volumen del humedal artificial tomada de la Tabla 10-1, (V_H, m^3)

$$V_H = L_H * F_H * h$$

Donde:

L_H = Longitud del humedal (m)

F_H = Ancho del humedal (m)

h_p = Profundidad del humedal (m)

$$V_H = 5,54 \text{ m} * 11,278 \text{ m} * 0,76 \text{ m}$$

$$V_H = 47,48 \text{ m}^3$$

- Cálculo del tiempo de retención con ecuación tomada de la Tabla 10-1, (T_{HR} , días)

$$T_{HR} = \frac{A_{SH} * h * n}{Q_{med.horario}}$$

Donde:

A_{SH} = Área superficial del humedal (m^2)

h_p = Profundidad del humedal (m), Tabla 9-1

n = Rugosidad del material (*adimencional*), Tabla 7-1

$Q_{min.horario}$ = Caudal mínimo horario (m^3/s)

$$T_{HR} = \frac{249,88 m^2 * 0,76m * 0,35}{52,70 m^3/día}$$

$$T_{HR} = 1,26 días$$

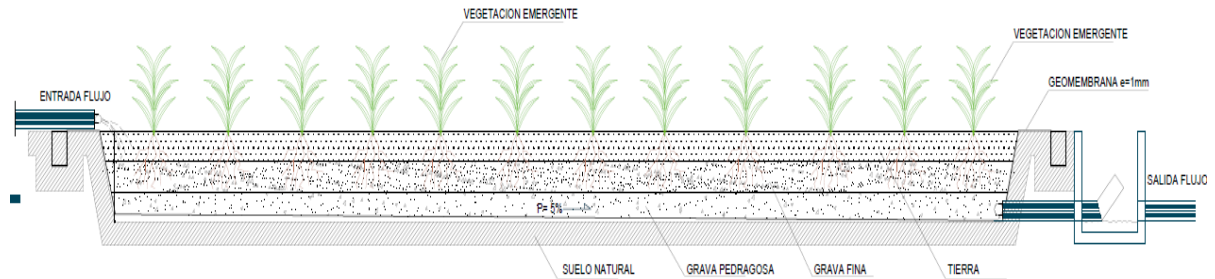


Figura 4-3 Humedal Artificial FHS diseñado

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

- Cálculo de carga de lodo en el humedal artificial con ecuación tomada de la Tabla 10-1

El volumen obtenido en el humedal artificial plata piloto es de 25 ml y según OPS/CEPIS/05.163 la densidad de lodo es 1,04 kg/L.

$$\rho_{lodos} = \frac{m_{lodos}}{V_{lodos}}$$

Donde:

ρ_{lodo} = Densidad del lodo (kg/L)

V_{lodos} = Volumen del lodo (m^3)

m_{lodos} = Masa del lodo (kg)

$$m_{lodos} = \rho_{lodos} * V_{lodos}$$

$$m_{lodos} = 1,04 \frac{kg}{L} * 25 ml * \frac{L}{100 ml}$$

$$m_{lodos} = 0,0026 kg$$

Se obtiene 0,0026 kg de lodo en 10 L de agua residual en 7 días entonces:

$$0,0026 \text{ kg} \rightarrow 10 \text{ L}$$

$$x \text{ kg} \rightarrow 47480 \text{ L}$$

$$x \text{ kg} = 12,34$$

La cantidad de lodo en el humedal sería de 12,34 kg por 7 días.

3.1.6 Dimensionamiento del Canal de Parshall

Los datos descritos son en relación a la Tabla 13-1:

Condiciones	Valor	Simbología	Unidad
Ancho en la entrada de la sección convergente	0,259	D	m
Profundidad de la cubeta	0,057	N	m
Longitud de las paredes de la sección divergente	0,025	K^1	m
Ancho de la salida	0,178	C	m
Longitud de la sección divergente	0,305	G	m
Densidad de fluido	997,45	df	kg/m^3
Viscosidad dinámica del fluido	$0,9463 \times 10^{-3}$	μ	$kg/m.s$

– Cálculo de la altura del agua en la sección de medición con la ecuación 18, (H_o, m)

La constante $K=3,704$ y $m=0,646$ en relación con el ancho de la garganta $W=0,075 \text{ m}$ se toman de la Figura 28-1, y el caudal de diseño es $0,005336 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$H_o = K * Q_{max.d}^m$$

Donde:

K = Coeficiente que depende del ancho de la garganta (adimensional), Figura 28-1

m = Constante (adimensional), Figura 28-1

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo de diseño (m^3/s)

$$H_o = 3,704 * (0,005336)^{0,646}$$

$$H_o = 0,13 \text{ m}$$

Si la relación de $H_2/H=H_2/H_o$ es menor o igual a 0,60, es decir con una sumergencia del 60% entonces:

$$\frac{H_2}{H_o} = 0,60$$

$$\frac{H_2}{0,13} = 0,60$$

$$H_2 = 0,078$$

En tanto que, la elevación de la cresta por encima del fondo del canal (x), se calcula tomando como dato el ancho a la entrada de la sección convergente $D=0,259$ descrita en la Tabla 13-1

$$x = D - 0,078$$

$$x = 0,259 \text{ m} - 0,078$$

$$x = 0,181$$

– Cálculo del ancho de la sección de medición con la ecuación 19, (D' , m)

El ancho de la garganta del canal del Parshall (W) es de 0,075m o 3 pulgadas, Tabla 12-1, se optó por ésta medida de acuerdo al caudal máximo y minio y aunque nuestro caudal no encaja en el valor mencionado, no es muy usual la construcción de canales de 1 pulgada. El valor $D=0,259$ m son tomados de la Tabla 13-1 con respecto a $W=0,075$ m.

$$D' = \frac{2}{3} * (D - W) + W$$

Donde:

D = Ancho en la entrada de la sección convergente (m), Tabla 13-1

W = Ancho de la garganta del canal (m), Tabla 12-1

$$D' = \frac{2}{3} * (0,259 \text{ m} - 0,075 \text{ m}) + 0,075 \text{ m}$$

$$D' = 0,20 \text{ m}$$

– Cálculo de la velocidad en la sección de medición con la ecuación 20, (v_0 , m/s)

$$v_0 = \frac{Q_{max.d}}{D' * H_0}$$

Donde:

D' = Ancho de la sección de medición (m)

H_0 = Altura del agua (m)

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo de diseño (m^3/s)

$$v_0 = \frac{0,00536 \text{ m}^3/s}{0,20 \text{ m} * 0,13 \text{ m}}$$

$$v_0 = 0,21 \text{ m/s}$$

– Cálculo del caudal específico en la garganta de la canaleta con la ecuación 21, (q , $m^3/m.s$)

$$q = \frac{Q_{max.d}}{W}$$

Donde:

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo de diseño (m^3/s)

W = Ancho de la garganta del canal (m), Tabla 12-1

$$q = \frac{0,00536 \, m^3/s}{0,075 \, m}$$

$$q = 0,071 \, m^3/m.s$$

– Cálculo de carga hidráulica disponible con la ecuación 22, (E_0, m)

La profundidad de la cubeta $N=0,057 \, m$ con respecto $W=0,075 \, m$ tomados de la Tabla 13-1, aceleración de la gravedad de $9,8 \, m/s^2$.

$$E_0 = \frac{v_0^2}{2g} + H_0 + N$$

Donde:

v_0 = Velocidad en la sección de medición (m/s)

H_0 = Altura del agua en la sección de la medición (m)

N = Profundidad de la cubeta (m), Tabla 13-1

g = Gravedad ($9,8 \, m/s^2$)

$$E_0 = \frac{(0,21 \, m/s)^2}{2(9,8 \, m/s^2)} + 0,13 \, m + 0,057 \, m$$

$$E_0 = 0,19 \, m$$

– Cálculo del ángulo de la canaleta con la ecuación 23, (θ)

$$\cos\theta = -\frac{q * g}{\left(\frac{2}{3} * g * E_0\right)^{1,5}}$$

Donde:

q = Caudal específico $m^3/m.s$

E_0 = Carga hidráulica disponible (m)

g = Gravedad ($9,8 \, m/s^2$)

$$\cos\theta = -\frac{0,071 \, m^3/m.s * 9,8 \, m/s^2}{\left(\frac{2}{3} * 9,8 \, m/s^2 * 0,19\right)^{1,5}}$$

$$\cos\theta = -0,56$$

$$\theta = \cos^{-1} - 0,56$$

$$\theta = 124^{\circ} 14'$$

- Cálculo de la velocidad antes del resalto con la ecuación 24, ($v_1, m/s$)

$$v_1 = 2 * \sqrt{\frac{2gE_0}{3} * \frac{\cos\theta}{3}}$$

Donde:

E_0 = Carga hidráulica disponible (m)

θ = Ángulo del canal

$$v_1 = 2 * \sqrt{\frac{2(9,8 m/s^2) 0,19 m}{3} * \frac{\cos 124^{\circ} 14'}{3}}$$

$$v_1 = 1,67 m/s$$

- Cálculo de la altura del agua antes del resalto con la ecuación 25, (h_1, m)

El término resalto es conocido como salto hidráulico que indica el paso violento de un régimen supercrítico a uno sub-crítico.

$$h_1 = \frac{q}{v_1 q}$$

Donde:

V_1 = Velocidad antes del resalto (m/s)

q = Caudal específico $m^3/m.s$

$$h_1 = \frac{0,071 m^3/m.s}{1,67 m/s}$$

$$h_1 = 0,043 m$$

- Número de Froude con la ecuación 26, ($F_1, adimensional$)

El número de Froude hace relación los efectos de la fuerza de la inercia y de la gravedad que ejercen sobre el fluido.

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{h_1 g}}$$

Donde:

h_1 = Altura del agua del resalto (m)

V_1 = Velocidad antes del resalto (m/s)

g = Gravedad ($9,8 m/s^2$)

$$F_1 = \frac{1,67 \text{ m/s}_1}{\sqrt{0,043 \text{ m} * 9,8 \text{ m/s}^2}}$$

$$F_1 = 2,59$$

El valor resultante se encuentra dentro del rango de 2 a 3 de número de Froude ya mencionado anteriormente.

- Cálculo de la altura del resalto con la ecuación 27, (h_2, m)

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right]$$

Donde:

h_1 = Altura del agua del resalto (m)

F_1 = Número de Froude (unidades)

$$h_2 = \frac{0,043 \text{ m}}{2} \left[\sqrt{1 + 8(2,59)^2} - 1 \right]$$

$$h_2 = 0,14 \text{ m}$$

- Cálculo de la velocidad en el resalto con la ecuación 28, $(v_2, m/s)$

$$v_2 = \frac{Q_{max.d}}{Wh_2}$$

Donde:

W = Ancho de la garganta del canal (m), Tabla 12-1

h_2 = Altura de resalto (m)

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo de diseño (m^3/s)

$$v_2 = \frac{0,00534 \text{ m}^3/s}{0,075 \text{ m} * 0,15 \text{ m}}$$

$$v_2 = 0,52 \text{ m/s}$$

- Cálculo de la altura de la sección de salida de canal con la ecuación 29, (h_3, m)

Los valores de $N=0,0057 \text{ m}$ y $K^1=0,025 \text{ m}$ tomados de la Tabla 13-1 con respecto a $W=0,075 \text{ m}$ permiten el cálculo de la sección de salida del canal.

$$h_3 = h_2 - (N - K^1)$$

Donde:

N = Profundidad de la cubeta (m), Tabla 13-1

K^1 = Longitud de las paredes de la sección divergente (m), Tabla 13-1

h_2 = Altura de resalto (m)

$$h_3 = 0,14 \text{ m} - (0,057 \text{ m} - 0,025 \text{ m})$$

$$h_3 = 0,11 \text{ m}$$

– Cálculo de la velocidad en la sección de la salida con la ecuación 30, ($v_3, \text{m/s}$)

El ancho de la salida del canal $C=0,178 \text{ m}$ es tomada de la Tabla 13-1 con respecto a $W=0,075 \text{ m}$.

$$v_3 = \frac{Q_{max.d}}{C * h_3}$$

Donde:

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo de diseño (m^3/s)

C = Ancho de la salida (m), Tabla 13-1

h_3 = Altura de la sección de salida del canal (m)

$$v_3 = \frac{0,00534 \text{ m}^3/\text{s}}{0,178 \text{ m} * 0,11 \text{ m}}$$
$$v_3 = 0,27 \text{ m/s}$$

– Cálculo de pérdida de carga en el resalto con la ecuación 31, (h_{pr}, m)

La longitud de las paredes de la sección divergente K^1 descrita en la Tabla 13-1 con relación a $W=0,075 \text{ m}$, es $0,025 \text{ m}$.

$$h_{pr} = H_0 + K^1 - h_3$$

Donde:

H_0 = Altura del agua (m)

K^1 = Longitud de las paredes de la sección divergente (m), Tabla 13-1

h_3 = Altura de la sección de salida del canal (m)

$$h_{pr} = 0,13 \text{ m} + 0,025 - 0,11$$

$$h_{pr} = 0,045 \text{ m}$$

– Cálculo del tiempo de mezcla en el resalto con la ecuación 32, (T, s)

La longitud de las paredes de la sección divergente $G=0,305 \text{ m}$ con relación a $W=0,075 \text{ m}$, se visualiza en la Tabla 12-1.

$$T = \frac{2G}{v_2 - v_3}$$

Donde:

ρ_f = Densidad del fluido a la temperatura de 23 °C (kg/m^3), Tabla 1-3

μ = Viscosidad del fluido a la temperatura de 23°C ($kg/m.s$), Tabla 1-3

h_{pr} = Pérdida de carga (m)

T = Tiempo de mezcla en el resalto (s)

$$T = \frac{2 * 0,305m}{0,52 m/s - 0,27 m/s}$$

$$T = 2,44 s$$

– Cálculo de gradiente de velocidad con la ecuación 33, (G, s^{-1})

La densidad del fluido a la temperatura de 23 °C es 997,45 Kg/m³ y viscosidad a la misma temperatura es 0,9463x10⁻³ Kg/ms, descrita en la Tabla 1-3

$$G = \sqrt{\frac{\rho_f h_{pr}}{\mu T}}$$

Donde:

ρ_f = Densidad del fluido a la temperatura de 23 °C (kg/m^3), Tabla 1-3

μ = Viscosidad del fluido a la temperatura de 23°C ($kg/m.s$), Tabla 1-3

h_{pr} = Pérdida de carga (m)

T = Tiempo de mezcla en el resalto (s)

$$G = \sqrt{\frac{997,45 Kg/m^3 \cdot 0,045 m}{0,9463 \times 10^{-3} Kg/m.s \cdot 2,44 s}}$$

$$G = 139,43 s^{-1}$$

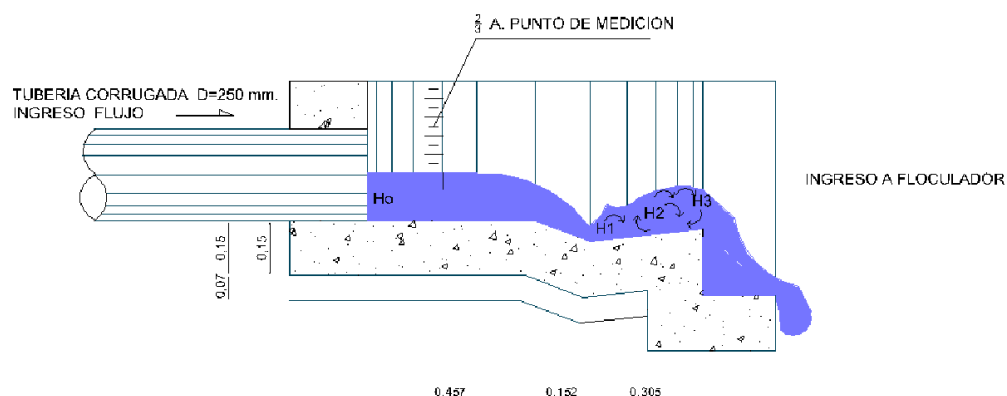


Figura 5-3 Canal de Parshall diseñado
Realizado por: Martha Quindigalle 2015

3.1.7 Cálculo de la Dosificación del Policloruro de Aluminio (PAC)

La dosificación del PAC se realizó por vía húmeda para la tratabilidad del agua residual, la concentración del PAC en el Test de jarra es 2mg/L, nuestro cálculo se realizará para un caudal de diseño máximo 231552L/día con una turbiedad inicial de 15,15 UNT.

$$\begin{aligned} V1 &\rightarrow P1 \\ V2 &\rightarrow P2 = X \end{aligned}$$

Donde:

V1= Volumen de la solución (ml)

V1= Volumen de la solución requerida (ml)

P1= Peso de PAC inicial (g)

P2= Peso de PAC requerido en la solución (g)

$$\begin{aligned} 100ml &\rightarrow 5g \\ 2ml &\rightarrow x \\ x &= \frac{2ml * 5g}{100ml} \\ x &= 0,1g/L \end{aligned}$$

– Cálculo de la cantidad de PAC requerida por día con la ecuación 34

$$P_{PAC} = Q_{max.d} * Dosis\ PAC$$

Donde:

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo de diseño ($L/día$)

$$\begin{aligned} P_{PAC} &= 231552\ L/día * \frac{0,1g}{L} * \frac{Kg}{1000g} \\ P_{PAC} &= 23,16\ Kg/día \end{aligned}$$

– Cálculo del costo del PAC por día con la ecuación 35

$$\begin{aligned} C_{PAC} &= P_{PAC} * costo\$ \\ C_{PAC} &= 23,16\ \frac{Kg}{día} * 0,75ctv \\ C_{PAC} &= 17,366\$/día \end{aligned}$$

La presentación del PAC viene dado en 25 kg cuyo valor es 0,75 \$ entonces realizamos una relación para el costo anual.

$$\begin{aligned} 25\ kg &\rightarrow 0,75\ \$ \\ 23,16\ kg &\rightarrow x\$ \end{aligned}$$

$$x\$ = \frac{23,16 \text{ kg} * 0,75\$}{25 \text{ kg}}$$

$$x\$ = 0,6994 * 365 \text{ días}$$

$$x\$ = 255,281$$

3.1.8 Dimensionamiento de un floculador hidráulico de flujo horizontal

- Cálculo del área del canal del floculador con la ecuación 36, (A_F, m^2)

El caudal máximo de diseño es 0,00536 m³/s y una velocidad de flujo de 10 m/s.

$$A_F = \frac{Q_{max.d}}{v}$$

Donde:

v = Velocidad del flujo de agua (m/s)

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo de diseño (m³/s)

$$A_F = \frac{0,00536 \text{ m}^3/\text{s}}{0,10 \text{ m/s}}$$

$$A_F = 0,054 \text{ m}^2$$

- Cálculo del ancho del canal de floculación con la ecuación 37, (a, m)

La altura de agua de la unidad o profundidad se toma un valor de 1,00 m de acuerdo al tipo de material de la pantalla para el floculador, descrita en la Tabla 14-1, pero en base a esta profundidad optamos una altura de 1,10 m para nuestro floculador.

$$a = \frac{A_F}{H_u}$$

Donde:

H_u = Altura del agua en la unidad (m), Tabla 14-1

A_F = Área del canal del floculador (m²)

$$a = \frac{0,054}{1,10}$$

$$a = 0,049 \text{ m}$$

- Cálculo del ancho de las vueltas de floculación con la ecuación 38, (d, m)

El paso de un canal a otro deberá ser de 1,5 veces el espacio entre pantallas.

$$d = 1,5 a$$

Donde:

a = Ancho del canal del floculador (m)

$$d = 1,5 (0,049)m$$

$$d = 0,0735 m$$

– Cálculo del ancho del floculador con la ecuación 39, (B_f, m)

Al utilizar una pantalla de Asbesto y cemento corrugado disminuye la gradiente de velocidad entre el canal y las vueltas para lograr esta condición el ancho útil de la lámina A-C corrugado es 0,825 m tal cual como se describe en la Tabla 15-1.

$$B_f = 3b_{ac} + d$$

Donde:

b_{ac} = Ancho útil de la lámina A-C (m), Tabla 15-1

d = Ancho de las vueltas de la floculación (m)

$$B_f = 3 * 0,825 m + 0,0735 m$$

$$B_f = 2,55 m$$

– Cálculo de la longitud efectiva del canal con la ecuación 40, (LE, m)

$$LE = B_f - d$$

Donde:

B_f = Ancho del floculador (m)

d = Ancho de las vueltas de la floculación (m)

$$LE = 2,55 m - 0,0735 m$$

$$LE = 2,476 m$$

– Cálculo de la distancia recorrida por el agua con la ecuación 41, (L_c, m)

El tiempo de detención para la distancia recorrida según la norma GOMELLA es de 10 a 30 minutos en tanto que, el valor para nuestro calculo será de 10 minutos como tiempo mínimo para que ocurra el proceso de floculación.

$$L_c = v Tr$$

Donde:

v = Velocidad del flujo de agua (m/s)

Tr = Tiempo de detención (min)

$$L_c = 0,10 m/s \ 10min * 60s$$

$$L_c = 60 \text{ m}$$

- Cálculo del número de canales con la ecuación 42, (N_c , unidades)

$$N_c = \frac{L_c}{B_f}$$

Donde:

L_c = Distancia recorrida por el agua (m)

B_f = Ancho del floculador (m)

$$N_c = \frac{60 \text{ m}}{2,55 \text{ m}}$$

$$N_c = 23,52 \text{ unidades} = 24 \text{ unidades}$$

- Cálculo de la longitud del floculador con la ecuación 43, (L , m)

$$L = N_c(a + es)$$

Donde:

es = Espesor de la lámina A-C (m), Tabla 15-1

N_c = Número de canales (unidades)

d = Ancho de las vueltas de la floculación (m)

$$L = 24 * (0,049 \text{ m} + 0,006 \text{ m})$$

$$L = 1,32 \text{ m}$$

- Cálculo del volumen del floculador con la ecuación 44, (V_F , m^3)

$$V_F = L * B_f * H_u$$

Donde:

B_f = Ancho del floculador (m)

L = Longitud del floculador (m)

H_u = Altura de la unidad (m)

$$V_F = 1,32 \text{ m} * 2,55 \text{ m} * 1,10 \text{ m}$$

$$V_F = 3,70 \text{ m}^3$$

- Cálculo de pérdida de carga de las vueltas con la ecuación 45, (h_{c1} , m)

El coeficiente de pérdida de carga en las vueltas varía de 2 a 4 siendo su valor usual 3.

$$h_{c1} = \frac{kv^2(N_c - 1)}{2g}$$

Donde:

k = Coeficiente de pérdida carga (*adimencional*)

N_c = Número de canales (*unidades*)

v = Velocidad del flujo de agua (m/s)

$$h_{c1} = \frac{3 * (0,10 \text{ m/s})^2 (24 - 1)}{2 * 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{c1} = 0,35 \text{ m}$$

– Cálculo del perímetro mojado en la sección del tramo con la ecuación 46, (P, m)

$$P = 2 H_u + a$$

Donde:

a = Ancho del canal del floculador (m)

H_u = Altura del agua en la unidad (m)

$$P = 2(1,10)m + 0,049 \text{ m}$$

$$P = 2,25 \text{ m}$$

– Cálculo del radio hidráulico de los canales del tramo con la ecuación 47, (R_H, m)

$$R_H = \frac{A_F}{P}$$

Donde:

A_F = Área del canal del floculador (m^2)

P = Perímetro mojado en la sección en la sección del tramo (m)

$$R_H = \frac{0,054 \text{ m}^2}{2,25 \text{ m}}$$

$$R_H = 0,024 \text{ m}$$

– Cálculo de pérdida de carga en los canales del tramo con la ecuación 48, (h_{c2}, m)

El coeficiente de fricción de Manning $n=0,030$ para el tipo de pantalla de A-C corrugado se describe en la Tabla 15-1

$$h_{c2} = \frac{(nv)^2}{R_H^{2/3}} * L_c$$

Donde:

L_c = Longitud del canal de floculación (m)

R_H = Radio hidráulico de los canales en la sección del tramo (m)

v = Velocidad del flujo de agua (m/s)

n = Coeficiente de fricción de manning (*adimencional*)

$$h_{c2} = \frac{(0,030 * 0,10 \text{ m/s})^2}{(0.013)^{4/3}} * 60 \text{ m}$$

$$h_{c2} = 0,18 \text{ m}$$

- Cálculo de pérdida de carga total del tramo con la ecuación 49, (h_{cT}, m)

$$h_{cT} = h_{c1} + h_{c2}$$

Donde:

h_{c1} = Pérdida de carga en los canales de la sección del tramo (m)

h_{c1} = Pérdida de carga continua en las vueltas (m)

$$h_{cT} = 0,35 \text{ m} + 0,18 \text{ m}$$

$$h_{cT} = 0,53 \text{ m}$$

- Gradiente de velocidad con la ecuación 50, (G, s^{-1})

$$G = \sqrt{\frac{\rho f h_{cT}}{\mu Tr}}$$

Donde:

h_{cT} = Pérdida de carga total en el último tramo (m)

ρf = Densidad del fluido a la temperatura de 23°C (kg/m^3), Tabla 1-3

μ = Viscosidad del fluido a la temperatura de 23°C ($kg/m.s$), Tabla 1-3

$$G = \sqrt{\frac{997,45 \text{ kg/m}^3}{0,9463 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}} * \frac{0,53 \text{ m}}{10 \text{ min} * 60 \text{ s}}}$$

$$G = 30,57 \text{ s}^{-1}$$

El gradiente de velocidad calculado 30,57 s^{-1} , según la norma AWWA está dentro del rango $5 < G < 100 \text{ s}^{-1}$, visualizar Tabla 16-1

- Número de Camp con la ecuación 51, ($G_T, adimensional$)

$$G_T = G Tr$$

Donde:

G = Gradiente de velocidad (s^{-1})

Tr = Tiempo de detención (min)

$$G_T = 3057 \text{ s}^{-1} * 10 \text{ min} * 60 \text{ s}$$

$$G_T = 18343,38$$

El número de Camp 18343,38 se encuentra dentro del rango establecido por la norma AWWA $30000 < G.T > 15000$, visualizar la Tabla 16-1

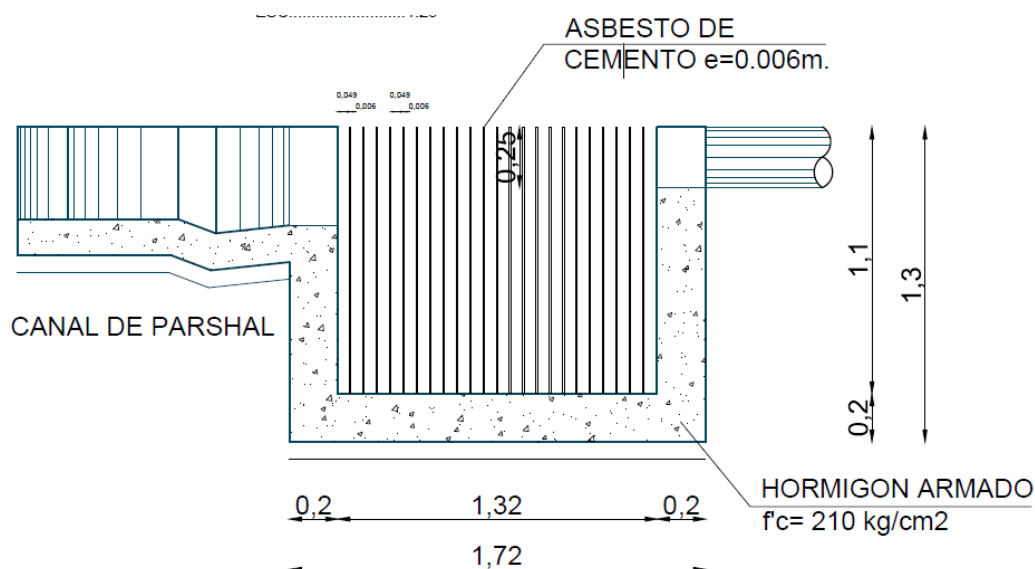


Figura 6-3 Floculador diseñado

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

3.1.9 Dimensionamiento de un sedimentador

Tabla 1-3 Datos para el cálculo del sedimentador

Condiciones	Valor	Simbología	Unidad
Densidad del fluido	997,45	ρ_f	Kg/m^3
Viscosidad dinámica del fluido	0,009364	μ	$Kg/m.s$
Viscosidad cinemática del fluido	$0,9486 \times 10^{-6}$	ν	m^2/s

Fuente: Separata de Operaciones Básicas de Ingeniería Química UCE, 1993

▪ Zona de entrada

La pantalla difusora según lo establecido por OPS/CEPIS debe ubicarse entre 0,7 a 1,00 m de distancia con respecto a la pared de la entrada. Se debe aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.

Los orificios más altos de la pared difusora deben estar a 1/5 o 1/6 de la altura (H) a partir de la superficie del agua y los más bajos entre 1/4 o 1/5 de la altura (H) a partir de la superficie del fondo. (OPS/CEPIS/05.158)

- Cálculo del área del orificio con la ecuación 52, (A_o , m^2)

La velocidad de paso entre los orificios será de 0,10 m/s propuesto que, según (OPS/CEPIS/05.158), la velocidad en los orificios no supera los 0,15 m/s para evitar perturbaciones en la zona de sedimentación.

$$A_o = \frac{Q_{max.d}}{v_o}$$

Donde:

v_o =velocidad de paso entre los orificios (m/s)

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo de diseño (m^3/s)

$$A_o = \frac{0,00536 \text{ m}^3/s}{0,10 \text{ m/s}}$$

$$A_o = 0,054 \text{ m}^2$$

- Cálculo del área de cada orificio con la ecuación 53, (Ac_o , m^2)

El diámetro cada orificio asumido es 0,05 m.

$$Ac_o = \pi \left(\frac{d_o}{2} \right)^2$$

Donde:

d_o = Diámetro del orificio (m)

$$Ac_o = \pi \left(\frac{0,05 \text{ m}}{2} \right)^2$$

$$Ac_o = 0,0020 \text{ m}^2$$

- Cálculo del número de orificios con la ecuación 54, (N_o , unidades)

$$N_o = \frac{A_o}{Ac_o}$$

Donde:

A_o = Área del orificio (m^2)

Ac_o = Área de cada orificio (m^2)

$$N_o = \frac{0,054 \text{ m}^2}{0,0020 \text{ m}^2}$$

$$N_o = 27 \text{ unidades}$$

- Cálculo del espacio entre filas de orificios con la ecuación 55, (ϕ_{s1}, m)

El número de filas se asumió de acuerdo al número de orificios calculado, en este caso la fila es de 3.

$$\phi_{s1} = \frac{H_{PD}}{nf}$$

Donde:

H_{PD} = Porción de altura de la pantalla difusora con los orificios (m)

nf = Número filas (*unidades*)

Para la porción de la altura de la pantalla difusora se realiza una diferencia de la altura del sedimentador (ecuación 59) con respecto a la posición que debe estar la pantalla (1/5H en cada extremo).

$$H_{PD} = 4,62 - 2(0,20)$$

$$H_{PD} = 4,22 \text{ m}$$

$$\phi_{s1} = \frac{4,22 \text{ m}}{3}$$

$$\phi_{s1} = 1,406 \text{ m}$$

- Cálculo del espacio entre las columnas del orificio con la ecuación 56 , (ϕ_{s2}, m)

También el número de columnas se asubio de acuerdo al número de orificios calculado, siendo para este caso 9 columnas.

$$\phi_{s2} = \frac{b_s}{nc}$$

Donde:

nc = Número de columnas entre orificios (*unidades*)

b_s = Ancho del tanque sedimentador (m)

$$\phi_{s2} = \frac{1,44 \text{ m}}{9}$$

$$\phi_{s2} = 0,16 \text{ m}$$

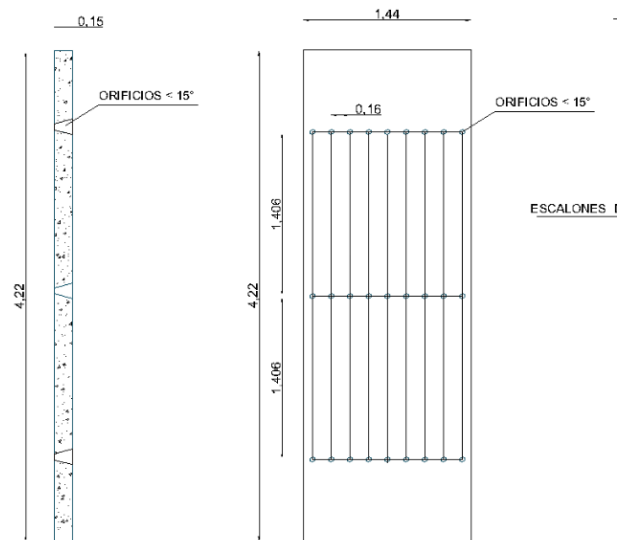


Figura 7-3 Pantalla difusora diseñado
Realizado por: Martha Quindigalle 2015

▪ *Zona de sedimentación*

- Cálculo del volumen de sedimentación con la ecuación 57, ($V_s, m^3/s$)

El Tiempo de retención para nuestro sedimentador es 1,5 h como valor mínimo, visualizar la Tabla 17-1

$$V_s = Q_{max.d} Ts$$

Donde:

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo de diseño (m^3/s)

Ts = Tiempo de retención (s)

$$V_s = 0,00536 m^3/s * 1,5 h * 3600s$$

$$V_s = 28,94 m^3$$

- Cálculo de la velocidad del sedimentador con la ecuación 58, ($v_s, m/s$)

El diámetro de la partícula discreta asumido es 0,03 mm o 0,00003 m, cabe resaltar que el sedimentador solo sedimenta partículas inferiores a 0,2 mm y superior a 0,5 mm de diámetro.

La densidad del fluido es 997,45 Kg/m³ y la viscosidad dinámica del fluido es 0,009463 kg/ms a la temperatura de 23 °C y la densidad del sólido es 2650 Kg/m³, descrita en la Tabla 1-3

$$v_s = \frac{g}{18} \left(\frac{\rho_s - \rho_f}{\mu} \right) d^2$$

Donde:

ρ_s = Densidad del sólido (Kg/m^3)

ρ_f = Densidad del fluido a la temperatura de 23°C (Kg/m^3)

μ = Viscosidad del fluido a la temperatura de 23°C ($Kg/m\ s$)

d = Diámetro de la partícula (m)

g = Gravedad ($9,8\ m/s^2$)

$$v_s = \frac{9,8\ m/s^2}{18} * \left(\frac{2650\ kg/m^3 - 997,45\ kg/m^3}{0,009463\ kg/m.s} \right) * (0,00003\ m)^2$$

$$v_s = 8,56 \times 10^{-4}\ m/s$$

– Cálculo de la velocidad de sedimentación de la partícula crítica con la ecuación 59, ($v_{sc}, m/s$)

La viscosidad cinemática del fluido a la temperatura de 23°C es $\vartheta = 0,9486 \times 10^{-6}\ m^2/s$.

$$v_{sc} = 0,22 \left(\frac{\rho_s - \rho_f * g}{\rho_f} \right)^{2/3} \frac{d}{\vartheta^{1/3}}$$

Donde:

ϑ = Viscosidad cinemática del fluido (m^2/s)

ρ_f = Densidad del fluido a la temperatura de 23°C (Kg/m^3)

μ = Viscosidad del fluido a la temperatura de 23°C ($Kg/m\ s$)

g = Gravedad ($9,8\ m/s^2$)

$$v_{sc} = 0,22 \left(\frac{2650\ kg/m^3 - 997,45\ kg/m^3 * 9,8\ m/s^2}{997,45\ kg/m^3} \right)^{2/3} \frac{0,00003\ m}{(0,9486 \times 10^{-6}\ m^2/s)^{1/3}}$$

$$v_{sc} = 4,307 \times 10^{-3}\ m/s$$

– Cálculo de la altura de la unidad con la ecuación 60, (H_s, m)

$$H_s = v_s * Ts$$

Donde:

v_{sc} = Velocidad de sedimentación de la partícula crítica (m/s)

Ts = Tiempo de retención (s), Tabla 17-1

$$H_s = 8,56 \times 10^{-4}\ m/s * 1,5\ h * 3600$$

$$H_s = 4,62\ m$$

– Cálculo del área superficial de sedimentación con la ecuación 61, (A_s, m^2)

El caudal de diseño máximo es 0,00536 m³/s ya calculado.

$$A_s = \frac{Q_{max.d}}{v_s}$$

Donde:

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo de diseño (m³/s)

v_s = Velocidad de sedimentación de las partículas discretas (m/s)

$$A_s = \frac{0,00536 \text{ m}^3/\text{s}}{8,56 \times 10^{-4} \text{ m/s}}$$

$$A_s = 6,26 \text{ m}^2$$

– Cálculo del ancho del tanque sedimentador con la ecuación 62, (b_s, m)

$$b_s = \sqrt{\frac{A_s}{3}}$$

Donde:

A_s = Área superficial de sedimentación (m²)

$$b_s = \sqrt{\frac{6,26 \text{ m}^2}{3}}$$

$$b_s = 1,44 \text{ m}$$

– Cálculo del longitud del tanque sedimentador con la ecuación 63, (L_s, m)

$$L_s = \frac{A_s}{b_s}$$

Donde:

A_s = Área superficial de sedimentación (m²)

b_s = Ancho del tanque sedimentador (m)

$$L_s = \frac{6,26 \text{ m}^2}{1,44 \text{ m}}$$

$$L_s = 4,34 \text{ m}$$

– Cálculo de la longitud total del sedimentador con la ecuación 64, (L_{Ts}, m)

La longitud total del sedimentador se determina teniendo en cuenta la ubicación de la pantalla a 0,7 m, entonces, sumamos este valor a longitud calculada.

$$L_{Ts} = 4,34 + 0,70 \text{ m}$$

$$L_{Ts} = 5,05 \text{ m}$$

- Cálculo de la altura total del sedimentador con la ecuación 65, (H_T, m)

El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento. (OPS/CEPIS) en tanto que, la altura total del sedimentador está en relación al pendiente de 10% y la longitud total para la evacuación de lodo.

$$H_T = H_s + 0,10 L_{Ts}$$

Donde:

L_{Ts} = Longitud total del sedimentador (m)

H_s = Altura de la unidad (m)

$$H_T = 4,62 + 0,10 (5,05)$$

$$H_T = 5,124 m$$

- Cálculo del volumen del tanque sedimentador con la ecuación 66, (V_{Ts}, m^3)

$$V_{Ts} = b_s * L_{Ts} * H_s$$

Donde:

L_s = Longitud del tanque sedimentador (m)

b_s = Ancho del tanque sedimentador (m)

H_s = Altura de la unidad (m)

$$V_{Ts} = 1,44 m * 5,04 m * 4,62 m$$

$$V_{Ts} = 33,53 m^3$$

- Cálculo de la altura crítica con la ecuación 67, (H_c, m)

$$H_c = v_{sc} Ts$$

Donde:

v_{sc} = Velocidad de sedimentación de la partícula crítica (m/s)

Ts = Tiempo de retención (s), Tabla 17-1

$$H_c = 4,307 \times 10^{-3} m/s * 1,5 h * 3600s$$

$$H_c = 23,26 m$$

- Cálculo del tiempo de retención hidráulica con la ecuación 68, ($T_{RH}, días$)

$$T_{RH} = \frac{V_{Ts}}{Q_{max.d}}$$

Donde:

V_{Ts} = Volumen del tanque sedimentador (m)

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo de diseño (m^3/s)

$$25 \frac{mg}{L} * \frac{1}{1067hab} * \frac{231,55 m^3}{1día} * \frac{1000L}{m^3} * \frac{1g}{1000mg} = 5,42 g_{SS}/hab. día$$

- Carga en fusión a la contribución per cápita de sólidos suspendidos con la ecuación 70, ($C, Kg_{SS}/día$)

La carga de sólidos que ingresa al sedimentador en estado de lodo y por consecuente pasa al lecho de secado para ser restirados como materia sólida luego de un proceso de deshidratación. La población futura determinada es de 1067 habitantes.

$$C = \frac{Pf * contribución per cápita}{1000}$$

Donde:

Pf = Población futura (habitantes)

$$C = \frac{1067hab * 5,41 g_{SS}/hab. día}{1000}$$

$$C = 5,79 Kg_{SS}/día$$

- Masa de los sólidos que conforman los lodos con la ecuación 71, ($Kg_{SS}/día$)

$$M_{sd} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C)$$

Donde:

C = Carga de sólidos en suspensión ($Kg_{SS}/día$)

$$M_{sd} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * 5,79) + (0,5 * 0,3 * 5,79)$$

$$M_{sd} = 1,88 Kg_{SS}/día$$

- Cálculo del volumen diario de lodos digeridos con la ecuación 72, ($V_{DL}, kg/L$)

Según OPS/CEPIS/05.163, la densidad de lodos para determinar el volumen diario de lodos digeridos es de 1,04 kg/L, el porcentaje de sólidos se asume un 12% que está dentro del rango mencionado por OPS/CEPIS de 8 a 12%.

$$V_{DL} = \frac{M_{sd}}{\rho_{lodo} \left(\frac{\%sólidos}{100} \right)}$$

Donde:

M_{sd} = Masa de los sólidos que conforman los lodos ($Kg_{SS}/día$)

ρ_{lodo} = Densidad del lodo (kg/L)

$$V_{DL} = \frac{1,88 Kg_{SS}/día}{1,04kg/L * \left(\frac{12}{100} \right)}$$

$$V_{DL} = 15,08 \text{ kg/L}$$

- Cálculo del volumen de lodos a extraerse del tanque con la ecuación 73, (V_{LE}, m^3)

El tiempo de digestión o el tiempo para la deshidratación del lodo son de 36 días a la temperatura de 23 °C, interpolado en la Tabla 18-1

$$V_{LE} = \frac{V_{DL} t_{DE}}{1000}$$

Donde:

V_{LD} = Volumen diario de los digeridos (m^3)

t_{DE} = Tiempo de digestión (días), Tabla 18-1

$$V_{LE} = \frac{15,08 \text{ kg/L} * 36 \text{ días}}{1000}$$

$$V_{LE} = 0,54 \text{ m}^3$$

- Cálculo del área del lecho de secado con la ecuación 74, (A_{LS}, m^2)

La profundidad del lodo que va depositarse en el lecho de secado es de 0,20 a 0,40 m según OPS/CEPIS 05,163, tomando un valor de 0,25 m para una mejor deshidratación y remoción del lodo.

$$A_{LS} = \frac{V_{LE}}{H_d}$$

Donde:

V_{LD} = Volumen diario de los digeridos (m^3)

H_d = Profundidad de aplicación (m)

$$A_{LS} = \frac{0,54 \text{ m}^3}{0,25 \text{ m}}$$

$$A_{LS} = 2,17 \text{ m}^2$$

- Cálculo la longitud del lecho de secado con la ecuación 75, (L_{LS}, m)

El ancho del lecho de secado según mencionado por el OPS/CEPIS/05.163 puede estar entre 3 a 6 m por tanto, para nuestro cálculo tomaremos el valor de 3 m de ancho.

$$L_{LS} = \frac{A_{LS}}{b_{LS}}$$

Donde:

A_{LS} = Área del lecho de secado (m^2)

b_{LS} = Ancho del lecho de secado (m)

$$L_{LS} = \frac{2,17 \text{ m}^2}{3 \text{ m}}$$

$$L_{LS} = 0,72 \text{ m}$$

– Cálculo del volumen del tanque para lodos con la ecuación 76, (V_{TL}, m^3)

El ancho del lecho de secado esta entre 3 y 6 m según OPS/CEPIS 05,163, si en caso fuese una planta de mayor tamaño el ancho puede llegar a 10 m.

$$V_{TL} = L_{LS} * b_{LS} * H_s$$

Donde:

L_{LS} = Longitud del lecho de secado (m)

B = Ancho del lecho de secado (m)

H_d = Profundidad de aplicación (m)

$$V_{TL} = 0,72 \text{ m} * 3 \text{ m} * 0,25 \text{ m}$$

$$V_{TL} = 0,54 \text{ m}^3$$

– Intervalo de tiempo para desalojar el lodo con la ecuación 77, ($T_{DL}, \text{días}$)

$$T_{DL} = \frac{V_{TL}}{Q_{max.d}}$$

Donde:

V_{TL} = Volumen del tanque (m^3)

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo de diseño

$$T_{DL} = \frac{0,54 \text{ m}^3}{0,00536 \text{ m}^3/s}$$

$$T_{DL} = 100,75 \text{ s} = 0,0023 \text{ días}$$

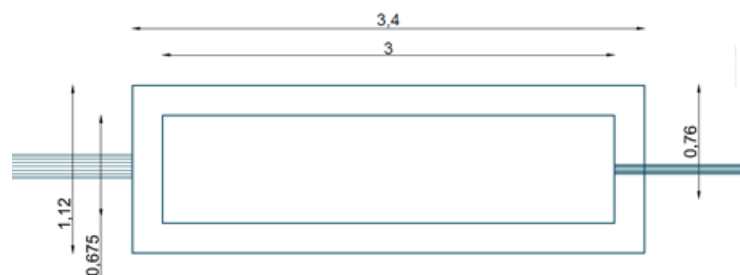


Figura 9-3 Lecho de secado diseñado
Realizado por: Martha Quindigalle 2015

3.2 Resultados

3.2.1 Resultados de la población futura y caudales

Tabla 2-3 Resultados de la población futura y caudales

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Población Futura	P_f	1067	hab
Caudal mínimo horario	$Q_{min.horario}$	1,220	L/s
Caudal medio horario	$Q_{med.horario}$	1,487	L/s
Caudal máximo horario	$Q_{max.horario}$	2,364	L/s
Caudal medio teórico	$Q_{med.teo}$	1,38	L/s
Caudal máximo teórico	$Q_{max.teo}$	4,35	L/s
Caudal medio de diseño	$Q_{med.d}$	3,43	L/s
Caudal máximo de diseño	$Q_{max.d}$	5,36	L/s

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

3.2.2 Resultado de las dimensiones espaciales del Sistema de Tratamiento

Tabla 22-3 Resultados del dimensionamiento del canal

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Área de la sección transversal	A	0,020	m
Ancho	b	0,50	m
Altura máxima del agua	h	0,1	m
Altura total del canal	H	0,40	m
Radio hidráulico	RH	0,15	m

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Tabla 4-3 Resultados del dimensionamiento de la rejilla

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Número de barra	N_B	14	unidades
Longitud de las barras	LB	0,56	m
Espesor de las barra	e	0,010	m
Separación entre barras	S_p	0,025	m
Pendiente de la rejilla	θ	45	grados

Nivel máximo de agua	$N_{max.a}$	0,11	m
Longitud sumergida de la rejilla	$L_{sum.r}$	0,15	m

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Tabla 5-3 Resultados del dimensionamiento del humedal artificial

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Área superficial	A_{SH}	249,88	m^2
Área de la sección transversal	A_{ST}	2,11	m^2
Ancho	F_H	5,54	m
Longitud	L_H	11,274	m
Profundidad	h_p	0,76	m
Pendiente	S	0,5	%
Volumen	V_H	47,48	m^3

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Tabla 6-3 Resultados del dimensionamiento de canal de Parshall

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Ancho de la sección de medición	D'	0,20	m
Altura del agua en la sección de medición	H_0	0,13	m
Velocidad en la sección de medición,	v_0	0,21	m/s
Elevación de la cresta por encima del fondo del canal	x	0,181	m
Ancho de la garganta del canal	W	0,075	m
Angulo de la canaleta	θ	124,14	<i>grados</i>
Número de Froude	F_1	2,59	<i>adimensional</i>
Ancho en la entrada de la sección convergente	D	0,250	m
Profundidad de la cubeta	N	0,057	m
Longitud de las paredes de la sección divergente	K^1	0,025	m
Longitud de la sección divergente	G	0,305	m
Ancho de la salida	C	0,178	m
Altura del agua antes del resalto	h_1	0,043	m
Velocidad antes del resalto	v_1	1,67	m/s
Altura del resalto	h_2	0,14	m

Velocidad en el resalto	v_2	0,52	m/s
Altura de la sección de salida de la canaleta	h_3	0,11	m
Velocidad en la sección de salida	v_3	0,27	m/s
Carga hidráulica disponible	E_0	0,19	m
Pérdida de carga en el resalto	h_p	0,045	m
Gradiente de velocidad	G	139,48	s^{-1}

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Tabla 7-3 Resultados del dimensionamiento del floculador

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Área del canal del floculador	A_F	0,054	m^2
Ancho del canal del floculador	a	0,049	m
Ancho de las vueltas del tramo de floculación	d	0,0735	m
Distancia recorrida por agua	L_c	60	m
Longitud efectiva del canal	LE	2,476	m
Ancho del floculador	B_f	2,55	m
Número de canales	Nc	24	<i>unidades</i>
Longitud del floculador	L	1,32	m
Volumen del floculador	V_F	3,70	m^3

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Tabla 8-3 Resultados del dimensionamiento del sedimentador

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Zona de entrada (pantalla difusora)			
Área del orificio	A_o	0,054	m^2
Área para cada orificio	Ac_o	0,0020	m^2
Diámetro de cada orificio	d_o	0,05	m
Número de orificios	N_o	27	<i>unidades</i>
Porción de la altura de la pantalla difusora	H_{PD}	4,22	m
Espacio entre filas de orificios	ϕ_{s1}	1,406	m
Espacio entre las columnas del orificio	ϕ_{s2}	0,16	m
Número de filas de orificios	nf	3	<i>unidades</i>
Número de columnas entre orificios	nc	9	<i>unidades</i>

Zona de sedimentación			
Altura de la unidad	H_s	4,62	m
Altura máxima	H_T	5,125	m
Área superficial	A_s	6,26	m^2
Ancho	b_s	1,44	m
Longitud del tanque	L_s	4,34	m
Volumen del tanque	V_{Ts}	33,53	m
Pendiente		10	%
Altura crítica	H_c	23,26	m

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

Tabla 9-3 Resultados del dimensionamiento del lecho de secado

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Área	A_{LS}	2,17	m^2
Longitud	L_{LS}	0,72	m
Volumen del tanque	V_{TL}	0,54	m^3
Profundidad	H_d	0,25	m
Ancho	b_{LS}	3,00	m
Tiempo para desalojar el lodo	T_{DL}	0,0023	días

Realizado por: Martha Quindigalle 2015

3.3 Rendimiento

Jacinto

– Remoción DBO

$$Re = 86 \frac{mg}{L} - \left(86 \frac{mg}{L} * \frac{43,02}{100} \right)$$

$$Re = 49 mg/L$$

– Remoción DQO

$$Re = 120 \frac{mg}{L} - \left(120 \frac{mg}{L} * \frac{62,5}{100} \right)$$

$$Re = 45 mg/L$$

– Remoción de Tensoactivos o detergentes

$$Re = 2 \frac{mg}{L} - \left(2 \frac{mg}{L} * \frac{45}{100} \right)$$

$$Re = 1,1 mg/L$$

- Remoción de Aceites y grasas

$$\text{Re} = 29 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - \left(29 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{31,03}{100} \right)$$

$$\text{Re} = 20 \text{ mg/L}$$

Junco

- Remoción DBO

$$\text{Re} = 86 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - \left(86 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{20,93}{100} \right)$$

$$\text{Re} = 68 \text{ mg/L}$$

- Remoción DQO

$$\text{Re} = 120 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - \left(120 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{27,7}{100} \right)$$

$$\text{Re} = 83 \text{ mg/L}$$

- Remoción de Tensoactivos o detergentes

$$\text{Re} = 2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - \left(2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{40}{100} \right)$$

$$\text{Re} = 1,2 \text{ mg/L}$$

- Remoción de Aceites y grasas

$$\text{Re} = 29 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - \left(29 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{37,93}{100} \right)$$

$$\text{Re} = 18 \text{ mg/L}$$

Policloruro de aluminio (PAC)

- Remoción de Tensoactivos y detergentes

$$\text{Re} = 2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - \left(2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{30}{100} \right)$$

$$\text{Re} = 1,4 \text{ mg/L}$$

3.4 Eficiencia del humedal artificial

La eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales se da a conocer en base al humedal artificial debido a que todos los contaminantes fuera normas son removidos por este medio artificial.

Jacinto

- Eficiencia de remoción del DBO

$$E = \frac{86 \frac{mg}{L} - 37 \frac{mg}{L}}{86 \frac{mg}{L}} * 100$$
$$E = 56,98\%$$

- Eficiencia de remoción del DQO

$$E = \frac{120 \frac{mg}{L} - 75 \frac{mg}{L}}{120 \frac{mg}{L}} * 100$$
$$E = 37,5\%$$

- Eficiencia de remoción de Tensoactivos o detergentes

$$E = \frac{2 \frac{mg}{L} - 0,9 \frac{mg}{L}}{86 \frac{mg}{L}} * 100$$
$$E = 55,00\%$$

- Eficiencia de remoción de aceites y grasas

$$E = \frac{29 \frac{mg}{L} - 11 \frac{mg}{L}}{29 \frac{mg}{L}} * 100$$
$$E = 62,07\%$$

Junco

- Eficiencia de remoción del DBO

$$E = \frac{86 \frac{mg}{L} - 18 \frac{mg}{L}}{86 \frac{mg}{L}} * 100$$

$$E = 79,07\%$$

- Eficiencia de remoción del DQO

$$E = \frac{120 \frac{mg}{L} - 33 \frac{mg}{L}}{120 \frac{mg}{L}} * 100$$

$$E = 72,5\%$$

- Eficiencia de remoción de Tensoactivos o detergentes

$$E = \frac{2 \frac{mg}{L} - 0,8 \frac{mg}{L}}{86 \frac{mg}{L}} * 100$$

$$E = 60\%$$

- Eficiencia de remoción de aceites y grasas

$$E = \frac{29 \frac{mg}{L} - 9 \frac{mg}{L}}{29 \frac{mg}{L}} * 100$$

$$E = 68,96\%$$

Policloruro de aluminio (PAC)

- Eficiencia de remoción de detergentes o Tensoactivos

$$E = \frac{0,8 \frac{mg}{L} - 0,6 \frac{mg}{L}}{0,8 \frac{mg}{L}} * 100$$

$$E = 25 \%$$

3.4.1 Verificación del cumplimiento de la norma

En la siguiente tabla se describe el cumplimiento de los parámetros fuera norma llevada a los valores límites permisibles por el TULSMA, Normas de Calidad y Descarga de Efluentes: Libro VI, Anexo 1, Tabla 10.

Tabla 10-3 Verificación del cumplimiento de la norma

Jacinto					
Parámetro	Concentración Inicial (mg/L)	Concentración final (mg/L)	Concentración de remoción (mg/L)	% de Eficiencia	Norma permisible TULSMA/Tabla 10 (mg/L)
DBO	86	37	45	56,98	50
DQO	120	75	49	37,5	100
Detergente	2	0,9	1,1	60	0,5
Aceites y Grasas	29	9	20	62,07	30
Junco					
DBO	86	18	68	79,07	50
DQO	120	33	83	72,5	100
Detergente	2	0,8	1,2	55	0,5
Aceites y Grasas	29	11	18	68,96	30
Policloruro de aluminio (PAC)					
Detergente	2	0,6	1,4	25	0,5

Fuente: Martha Quindigalle 2015

3.5 Análisis

El agua residual generada en la comunidad Caserío El Topo se descarga directamente al Río Topo a través del alcantarillado, siendo éste un factor que contamina los recursos hídricos por su alto nivel de cargas de contaminantes, entre los parámetros analizados de la Tabla 2-2, 3-2 y 4-2 se destacan el DBO, DQO, detergentes (Tensoactivos), aceites y grasas éste último se toma en consideración para la tratabilidad porque se necesita que el agua residual ingrese al sistema de tratamiento en estado más limpio pero luego de un análisis previo se considera que para nuestro sistema no es indispensable.

La trampa de grasa separa los aceites y grasas por la diferencia de densidades, luego se ingresó al humedal artificial con el motivo de remover los detergentes y evitar el uso de químicos para su remoción tal razón no se cumple porque el valor del detergente es aproximado con y sin trampa

de grasa así lo demuestra la Tabla 40-1. El detergente es un parámetro que se podría remover de forma natural si su tratabilidad se realizara en un área mucho más extenso.

De acuerdo a la Normas de Calidad y Descarga de Efluentes: Libro VI, Anexo 1, Tabla 10 (TULSMA), todo vertido de efluentes producto de las actividades doméstica previo a su descarga a ríos debe ser tratado. Entonces dicho vertido pasará por un sistema secuencial que está conformado por un canal de entrada o captación para regular la velocidad del flujo con la que ingresa el agua residual y las rejillas para la retención de material sólido.

Luego del sistema de desbaste el agua residual pasa al humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial que ocuparía una área superficial de 249,88 m² y un porcentaje de remoción del DBO₅ con el Junco 79,07 %, del detergente 60 % y aceites y grasas 68,96 % mediante la degradación biológica.

Posteriormente el agua residual se traslada por un canal de Parshall para la aplicación del policloruro de aluminio aprovechando el resalto del agua donde se forma coágulos seguida de floculación en un floculador hidráulico. El porcentaje de remoción del detergente en este proceso es del 70%. Y por último el agua residual se dirige a un sedimentador con capacidad de 5,124 m³ para la separación de lodos procedentes del floculador.

El Sistema de Tratamiento de aguas residuales diseñado para el Caserío El Topo se cuantifico de 1390,80 m², pues el diseño del humedal artificial ocupa un área significativa, tal como se muestra en la Figura 45-3 de acuerdo al levantamiento topográfico y los planos realizados, cuyo costo del terreno es 13900,80 USD.

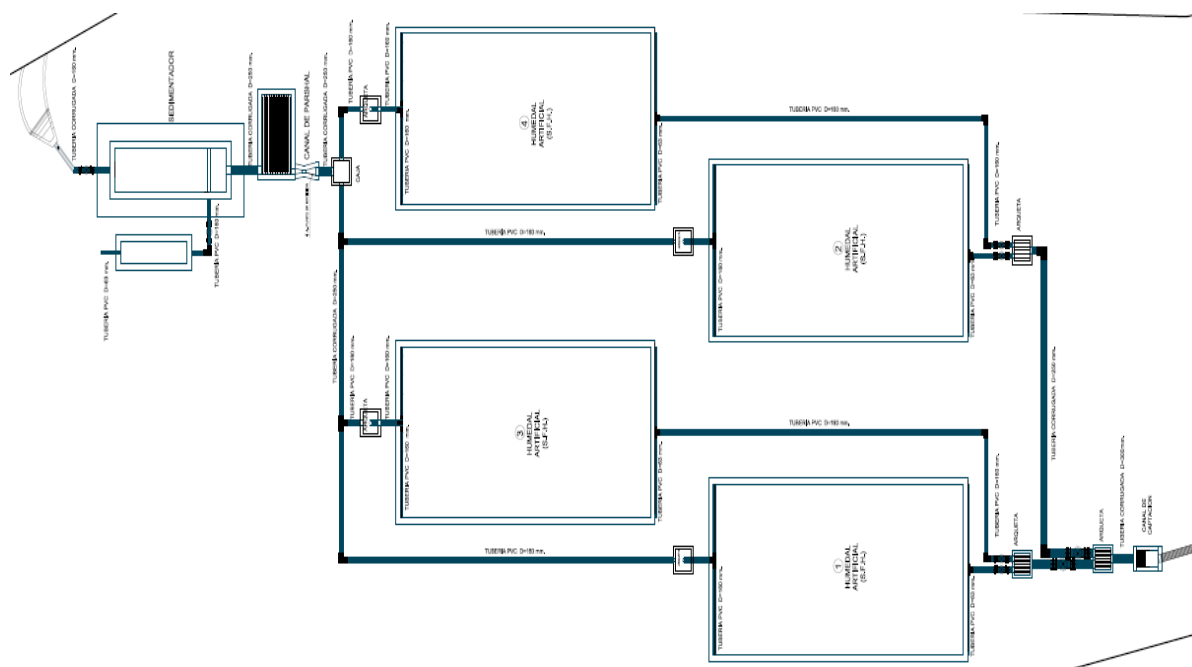


Figura 10-3 Planta funcional
Realizado por: Martha Quindigalle 2015

3.6 Presupuesto

El presupuesto para la implementación e instalación para el Sistema de Tratamiento de aguas residuales provenientes de la comunidad Caserío El Topo, esta analizado y calculado para cada uno de los equipos que conforman el sistema incluyendo replanteo, nivelación , remoción de escombros, tuberías, accesorios , entre otros parámetros de construcción estructurales.

Tabla 11-3 Presupuesto para el Sistema de Tratamiento de aguas residuales

Presupuesto					
Rubro	Descripción	Unidad	Cantidad total	Costo	Valor total
	SISTEMA DE TRATAMIENTO				
1	Replanteo y nivelación (con eq. de precisión)	m2	1390,80	0,98	1362,98
2	Desbroce para elementos estructurales	m3	780,00	2,50	1950,00
3	Sum. Trans. E Instalación de Tubería Corrugada unión z d=300mm	m	1,17	7,50	8,76
4	Sum. Trans. E Instalación de Tubería Corrugada unión z d=250mm	m	31,98	12,00	383,76
5	Sum. Trans. E Instalación de Tubería PVC 1 mpa. d=160mm	m	74,00	13,00	962,00
6	Sum. Trans. E Instalación de Tubería PVC 1 mpa. d=65mm	m	25,00	13,00	325,00
7	válvula de HF tipo Apolo +2 U. Gibauld A d=250mm	U	3,00	550,00	1650,00
8	válvula de HF tipo Apolo +2 U. Gibauld A d=160mm	U	7,00	515,00	3605,00

9	Sum. Y coloc. Accesorios.	global	1,00	250,00	250,00
10	Descarga	U	1,00	180,00	180,00
	CANAL DE CAPTACION				
11	Excavación en suelo sin clasificar para canal.	m3	0,58	2,45	1,42
12	Replanto de H.S. f' c=180kg/cm2	m3	0,72	110,00	79,20
13	Hormigón Simple f' c= 210 Kg/cm2. Incl. Encof y desencof.	m3	0,57	160,00	91,20
14	Rejilla de acero lisa e=10mm, Pintura anticorrosiva	U	1,00	40,00	40,00
	ARQUETA DISTRIBUIDORA				
15	Excavación en suelo sin clasificar	m3	0,58	2,45	1,42
16	Replanto de H.S. f' c=180kg/cm2	m3	0,17	110,00	18,70
17	Hormigón Simple f' c= 210 Kg/cm2. Incl. Encof y desencof.	m3	1,72	160,00	275,20
18	Acero de refuerzo F y= 4200 Kg/cm2.	Kg	1,92	1,88	3,61
19	Pintura de cemento blanco, para exteriores	m2	12,65	2,08	26,31
	ARQUETA				
20	Excavación en suelo sin clasificar	m3	0,58	2,45	1,42
21	Replanto de H.S. f' c=180kg/cm2	m3	0,25	110,00	27,50
22	Hormigón Simple f' c= 210 Kg/cm2. Incl. Encof y desencof.	m3	2,30	160,00	368,00
23	Acero de refuerzo F y= 4200 Kg/cm2.	Kg	1,92	1,88	3,61
24	Pintura de cemento blanco, para exteriores	m2	12,65	2,08	26,31
	CAJA				0,00
25	Excavación en suelo sin clasificar	m3	0,15	2,45	0,36
26	Replanto de H.S. f' c=180kg/cm2	m3	0,06	110,00	6,82
27	Hormigón Simple f' c= 210 Kg/cm2. Incl. Encof y desencof.	m3	0,27	160,00	43,20
28	Acero de refuerzo F y= 4200 Kg/cm2.	Kg	0,48	1,88	0,90
29	Pintura de cemento blanco, para exteriores	m2	3,16	2,08	6,57
	HUMEDAL ARTIFICIAL				
30	Excavación en suelo sin clasificar	m3	165,77	2,45	406,14
31	Geomembrana e=1mm	m2	200,00	6,50	1300,00
32	Excavación de zanja para anclaje de geomembrana	M	25,00	2,00	50,00
33	Grava pedregosa - filtrante	m3	52,00	16,00	832,00
34	Grava Fina - filtrante	m3	52,00	14,00	728,00
35	Tierra - filtrante	m4	52,00	12,00	624,00
36	Vegetación emergente	U	1000,00	0,30	300,00
	CANAL DE PARSHAL				
37	Excavación en suelo sin clasificar	m3	0,28	2,45	0,69
38	Replanto de H.S. f' c=180kg/cm2	m3	0,02	110,00	2,20
39	Hormigón Simple f' c= 210 Kg/cm2. Incl. Encof y desencof.	m3	0,11	160,00	17,60
40	Acero de refuerzo F y= 4200 Kg/cm2.	Kg	0,65	1,88	1,22
41	Punto de medición	U	1,00	5,00	5,00
42	Pintura de cemento blanco, para exteriores	m2	1,25	2,08	2,60
	FLOCULADOR				
43	Excavación en suelo sin clasificar	m3	6,30	2,45	15,44
44	Replanto de H.S. f' c=180kg/cm2	m3	0,35	110,00	38,50
45	Hormigón Simple f' c= 210 Kg/cm2. Incl. Encof y desencof.	m3	3,50	160,00	560,00
46	Acero de refuerzo Fy= 4200 Kg/cm2.	Kg	363,00	1,88	682,44
47	Asbesto de cemento corrugado	U	23,00	45,00	1035,00
48	Pintura de cemento blanco, para exteriores	m2	10,00	2,08	20,80
	SEDIMENTADOR				
49	Excavación en suelo sin clasificar	m3	50,00	2,45	122,50

50	Replanto de H.S. f' c=180kg/cm2	m3	11,00	110,00	1210,00
51	Hormigón Simple f' c= 210 Kg/cm2. Incl. Encof y desencof.	m3	8,90	160,00	1424,00
52	Acero de refuerzo F y= 4200 Kg/cm2.	Kg	515,00	1,88	968,20
53	Tapas de acero abisagradas. Pintado esml.	U	50,00	2,00	100,00
54	Pintura de cemento blanco, para exteriores	m2	45,90	2,08	95,47
55	Aireadores de PVC. + acces.	U	2,00	45,00	90,00
	LECHO DE SECADO				
56	Excavación en suelo sin clasificar	m3	1,80	2,45	4,41
57	Replanto de H.S. f' c=180kg/cm2	m3	0,26	110,00	28,60
58	Hormigón Simple f' c= 210 Kg/cm2. Incl. Encof y desencof.	m3	3,02	160,00	483,20
59	Pintura de cemento blanco, para exteriores	m2	45,90	2,08	95,47
				TOTAL	22.942,73
SON: VEINTE Y DOS MIL NOVECIENTOS CUARENTA Y DOS CON 73/100 USD.					

Fuente: Arq. J. Carlos Quisingo

Realizado: Martha Quindigalle 2015

CONCLUSIONES

- Se determinó las características físico-químicas y microbiológicas del agua residual provenientes de la comunidad Caserío El Topo a través de una caracterización donde los parámetros que se encuentran fuera del límite deben ser tratados hasta cumplir lo establecido según la legislación ambiental ecuatoriana TULSMA, Normas de Calidad y Descarga de Efluentes: Libro VI, Anexo 1, Tabla 10.
- Los contaminantes más importantes encontrados en el agua residual provenientes del Caserío El Topo son de características físicas, características químicas orgánicas y características biológicas debido a las actividades realizadas por los habitantes de la comunidad pero los parámetros que sobresalen son: Demanda bioquímica de oxígeno, Demanda bioquímica de oxígeno y detergentes que están dentro de las características químicas orgánicas.
- Las variables que se encuentran fuera del límite establecido por el TULSMA son: Demanda bioquímica de oxígeno 86 mg/L, Demanda química de oxígeno 120 mg/L y detergentes 2 mg/L. A más de las variables ya mencionadas también se consideran la población futura estimada 1067 habitantes, el caudal máximo de diseño 5,36 L/s y temperatura 23 ° C.
- Las pruebas de tratabilidad utilizadas fueron: la trampa de grasa como tratamiento del agua residual antes de ingresar al humedal artificial y remoción del detergente, índice de biodegradabilidad para la selección del humedal artificial como tratamiento biológico, Test de jarra para la remoción del detergente mediante el proceso de coagulación-floculación.
- El diseño seleccionado del Sistema de Tratamiento de aguas residuales fue validado con los resultados de los parámetros utilizados en el diseño del humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial, los valores determinados son: Demanda bioquímica de oxígeno 18 mg/L, Demanda química de oxígeno 33 mg/L y detergentes, 0,8 mg/L y los análisis del proceso de floculación y coagulación el detergente tiene un valor de 0,6 mg/L.
- El costo estimado para la implementación y ejecución de proyecto es de 22.942,73 dólares que incluye excavación, nivelación, remoción de escombros, tuberías y accesorios, material de construcción, pinturas, válvulas, arquetas en fin todo lo que implique la construcción de un Sistema de Tratamiento de aguas residuales. En cuanto a los planos, se detalló las dimensiones calculadas de cada uno de los equipos y la planta funcional en vista implantación, planta y corte.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda dejar que la vegetación utilizada (junco) se desarrolle bien antes de introducir el agua residual. Luego de ser insertar la planta, el nivel del agua debe descender para que las raíces puedan extenderse hacia el fondo del lecho del humedal.
- El control de los mosquitos en los humedales artificiales puede significar un factor crítico a para la implementación de estos sistemas acuáticos, debido a que el nivel de molestias puede llegar a ser intolerante y a las transmisiones de enfermedades, para esto se recomienda utilizar las siguientes estrategias de control: Aplicación de agentes de control químico (herbicidas), Difusión de oxígeno (con equipos de aireación) y Fumigación del agua en horas de la tarde.
- El floculador debe tener un constante mantenimiento porque la generación de flóculos forma sedimentos que se adhieren en las paredes de las pantallas o canal de asbesto-cemento.
- La cantidad o fracción de lodos que no es recolectado en el humedal artificial se debe remover en el lecho de secado que por el proceso de deshidratación esta solidifica para luego ser utilizado como compostaje o fertilizantes de suelo.

BLIOGRAFÍA

1. **ÁLVAREZ, Martha.** *Estanques y Jardines Acuáticos* [en línea]. Buenos Aires-Argentina, 207. [Consulta: 23 septiembre 2015]. pp. 28-30 Disponible en:
<https://books.google.com.ec/books?id=aLZDhLU5DNcC&pg=PA30&dq=planta+junco+scirpus&hl=es&sa=X&ved=0CCMQ6AEwAWoVChMI4fG91PDgyAIVSI8-Ch0DAAwc#v=onepage&q=planta%20junco%20scirpus&f=false>
<https://books.google.com.ec/books?id=0ALaAgAAQBAJ&pg=PA150&dq=planta+junco+scirpus&hl=es&sa=X&ved=0CDQQ6AEwBGoVChMI4fG91PDgyAIVSI8-Ch0DAAwc#v=onepage&q=planta%20junco%20scirpus&f=false>
2. **BARRETO, Guillermo de Barros.** 2014. *Humedales Artificiales* [en línea]. 2014. [Consulta: 12 septiembre 2015]. pp. 24-26 Disponible en:
<https://books.google.com.ec/books?id=FKkFrgEACAAJ&dq=humedales+artificiales+guillermo&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwil6bqcxb3JAhXFph4KHbmuC-cQ6AEIHDAACQ6AEIHDAAC>
3. **BUREAU VERITAS FORMACIÓN.** *Manual para la Formación en Medio Ambiente* [en línea]. 2005. [Consulta: 28 noviembre 2014]. pp. 205-210. Disponible en:
<https://books.google.com.ec/books?id=J7rMDpW49ZQC&pg=PA209&dq=relacion+dbo+y+dqo+y+biodegradabilidad+%28aguas+residuales%29&hl=es&sa=X&ved=0>
4. **CALDERÓN, Yuli.** *Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la parroquia Dayuma del cantón Francisco de Orellana* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2014. pp. 21-23.
5. **COBO, Daniela.** *Plantas utilizadas para el Tratamiento de Aguas Residuales* [en línea]. 2010. [Consulta: 17 octubre 2015]. <http://es.slideshare.net/danicobo88/plantas-utilizadas-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales>

6. **CRITES, Ron // TCHOBANOGLIOUS, George.** *Sistema de Manejo de Aguas Residuales para núcleos pequeños y descentralizados.* Volumen 1. Colombia. McGraw-Hill. pp. 33-85.
7. **CRITES, Ron // TCHOBANOGLIOUS, George.** *Sistema de Manejo de Aguas Residuales para núcleos pequeños y descentralizados.* Volumen 3. Colombia. McGraw-Hill. pp. 563-639.
8. **DELGADILLO, Oscar et al.** *Serie Técnica para Depuración de Aguas Residuales por medio de Humedales Artificiales* [en línea]. Bolivia ISBN, 2010. [Consulta: 3 septiembre 2015]. pp. 86-87 Disponible en:
https://books.google.com.ec/books?id=1kO2J5aDljQC&pg=PA87&dq=como+medir+la+biodegradabilidad+de+aguas+residual+en+relacion+DBO+Y+DQO&hl=es&sa=X&ved=0CB0Q6AEwAGoVChMI6cPq1bPMYAIVgRseCh0x6gu_#v=onepage&q=como%20medir%20la%20biodegradabilidad%20de%20aguas%20residual%20en%20relacion%20DBO%20Y%20DQO&f=false
9. **EX – IEOS 1993.** *Normas para estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes.*
10. **HERNÁNDEZ MUÑOZ, Aurelio et al.** *Manual de depuración uralita. Sistemas para depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20.000 habitantes.* 2ª ed. Uralita, S.A, 2004. pp. 1-469
11. **L. CÁNEPA DE VARGAS.** *Floculadores Hidráulicos* [en línea]. 209. [Consulta: 12 noviembre 2014]. Disponible en:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/014991/014991-04.pdf>
12. **LUNA, Héctor.** *Parámetros AUR* [en línea]. 2011. [Consulta: 15 octubre 2015]. Disponible en: <https://prezi.com/qsy6ztn6q2ia/residuales-clase-23-y-4/>
13. **MARÍN CORDOVA, Carlos et al.** *Diseño y Construcción de un canal Hidráulico de Pendiente Variable para uso Didáctico e Investigación* (tesis de pregrado). Universidad de el Salvador. Facultad de ingeniería y Arquitectura. Escuela de Ingeniería Mecánica. San Salvador. 2012

14. **Metcalf & Eddy, Inc.** 1995. *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, vertido y reutilización*. 3a. ed. Madrid-España. McGraw-Hill. v.2. pp. 507-510,1060-1064.
15. **NTE INEN 2 169:98.** *Agua Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras*.
16. **NTE INEN 2 176:98.** *Agua Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo*
17. **RAS.** *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: Sección 2, Título E, Tratamiento de aguas residuales*
18. **RODRÍGUEZ, Pedro.** *Hidráulica de canales* [en línea]. 2008. [Consulta: 25 marzo 2015]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/CarlosPajuelo/hidraulica-de-canales-pedro-rodriguez>
19. **ROJAS, R.** *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. CEPIS/OPS/05.163 - OMS. Curso internacional: "Gestión Integral de tratamiento de aguas residuales"*. Lima-Perú, 2005. pp. 19-20.
20. **ROJAS, R.** *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. CEPIS/OPS/05.168 - OMS. Curso internacional: "Gestión Integral de tratamiento de aguas residuales"*. Lima-Perú, 2005. pp. 17-21.
21. **SAINZ SASTRE, Juan Antonio.** *Procesos y Operaciones Unitarias en depuración de aguas residuales "Tecnología para la Sostenibilidad"* [en línea]. 2005. [Consulta: 7 noviembre 2015]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=r9aK7UttDU8C&printsec=frontcover&dq=c+oagulasi%C3%B3n+JUAN.+A.+SAINZ+SASTRE.+2005&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiN65qbzb3JAhXRsh4KHTNGC94Q6AEIIzAA#v=onepage&q&f=false>
22. **SALAZAR, Lorena.** *Diseño de una Planta Potabilizadora* [en línea]. Bogotá-Colombia UNAD, 2012. [Consulta: 7 noviembre 2015]. Disponible en:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Disenio_de_Plantas_Potabilizadoras/ficha_tcnica.html

23. **SILVA, David. E.** *Hidráulica, Hidrología y Sanitaria*, [en línea]. 2011. [Consulta: 6 diciembre 2015]. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/71818652/HIDROLOGIA-HIDRAULICA-Y-SANITARIA-ESPEA-T2-D-S#scribd>
24. **SILVA, Juan Pablo.** *Humedales Construidos* [en línea]. Colombia. [Consulta: 20 septiembre 2015]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/humedales.pdf>
25. **TULSMA.** *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Libro VI Anexo I*
26. **WILMER, LL & ENRIQUE, G.** *Diseño de Humedales Artificiales para el Tratamiento de aguas residuales en la UNMSM* [en línea]. 2006. [Consulta: 12 septiembre 2015]. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol9_n17/a11.pdf

ANEXOS

Anexos A. Reconocimiento del lugar



Anexos B. Punto de descarga del agua residual



Anexos C. Vegetación usada en el humedal artificial



Anexos D. Pruebas de tratabilidad con el humedal artificial





Anexos E. Tratabilidad con Trampa de grasa



Anexos F. Agua residual antes y después de la tratabilidad



Anexos G. Caracterización inicial del agua residual de la comunidad Caserío El Topo



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

Nº SE: 031 – 15

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Srta. Martha Quindigalle
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH
DIRECCIÓN: Av. El Rey y Boyacá

INFORME Nº: 031 – 15
Nº SE: 031 – 15

TELÉFONO: 0998663541

FECHA DE RECEPCIÓN: 18 – 05 – 15
FECHA DE INFORME: 25 – 05 – 15

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua Residual, Calor

TIPO DE MUESTRA:

IDENTIFICACIÓN: MA – 065 -15 Caserío El Topo, Baños

Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA – 065-15

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	7,16	+/- 0,08	05 – 05 – 15
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	176	+/- 6 %	05 – 05 – 15
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	9	N/A	05 – 05 – 15
* Sulfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 SO ₄ -E	3	N/A	05 – 05 – 15
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N - B mod	13,2	N/A	05 – 05 – 15
* Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E mod	0,23	N/A	05 – 05 – 15
* Sólidos Sedimentables	ml/l	STANDARD METHODS 2540 - F	0,4	N/A	05 – 05 – 15
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418,1	29	N/A	05 – 05 – 15
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	2,0	N/A	05 – 05 – 15
* Alcalinidad	mg CaCO ₃ /l	STANDARD METHODS 2320 - B	54	N/A	05 – 05 – 15
* Cloro libre residual	mg Cl ₂ /l	STANDARD METHODS 4500 - Cl G mod	0,17	N/A	05 – 05 – 15
* DBO ₅	mg O ₂ /l	STANDARD METHODS 5210 - B	86	N/A	05 – 05 – 15
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	120	+/- 10 %	05 – 05 – 15
* Coliformes Totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	2050	N/A	05 – 05 – 15
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	510	N/A	05 – 05 – 15

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

FMC2101-01

Página 1 de 2

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

Nº SE: 032 - 15

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Srta. Martha Quindigalle **INFORME Nº:** 032 - 15
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 032 - 15
DIRECCIÓN: Av. El Rey y Boyacá
FECHA DE RECEPCIÓN: 18 - 05 - 15
TELÉFONO: 0998663541 **FECHA DE INFORME:** 25 - 05 - 15

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua Residual **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN: MA - 066 -15 Caserio El Topo, Baños Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 066-15

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418.1	21	+/- 0,08	18 - 05 - 15
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	1,9	+/- 8 %	18 - 05 - 15
* Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E mod	0,86	N/A	18 - 05 - 15
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N - B mod	9,7	N/A	18 - 05 - 15
* Coliformes Totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	2100	N/A	18 - 05 - 15
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	620	N/A	18 - 05 - 15

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.
Dr. Jinsop Mario Ruiz B.

Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.



-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

ESPOCH

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Martha Quindigalle

Fecha de Análisis: 7 de abril del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 13 de abril del 2015

Tipo de muestras: Agua Residual doméstica. Muestra simple

Localidad: Caserío El Topo Parroquia Río Negro Cantón Baños

TRABAJO DE TESIS

Código LAT/052-15

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	7.5
Conductividad	μSiems/cm	2510-B		341
Turbiedad	UNT	2130-B		53
Cloruros	mg/L	4500-Cl-B		4.3
Alcalinidad	mg/L	2320-C		100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	250	162.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	64.0
Amonios	mg/L	4500-NH4-C		0.54
Fosfatos	mg/L	4500- P-D		15.0
Sulfatos	mg/L	4500- SO4-B		56.0
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2540-C		182
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-D		25
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	1.0	2.5
Sólidos Totales	mg/L	2540-A		404

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULAS TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

Anexos H. Caracterización final del agua residual de la comunidad del Caserío El Topo



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES
Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

Nº SE: 088 – 15

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Srta. Martha Quindigalle
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH
DIRECCIÓN: Av. El Rey y Boyacá
TELÉFONO: 0998663541

INFORME Nº: 088 – 15
Nº SE: 088 – 15
FECHA DE RECEPCIÓN: 23- 10 – 15
FECHA DE INFORME: 30 – 10 – 15

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua Residual Tratada
IDENTIFICACIÓN: MA – 214 -15 Caserío El Topo, Baños Agua
TIPO DE MUESTRA: Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS
MA – 214-15

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418.1	10.0	N/A	23- 10 – 15
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	0,8	N/A	23- 10 – 15
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	37	N/A	23- 10 – 15
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	72	+/- 10 %	23- 10 – 15

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:
Dr. Juan Carlos Lara R.


Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).

- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.

-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

FMC2101-01

Página 1 de 1

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Cuano Bloque Administrativo.



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

Nº SE: 049 – 15

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Srta. Martha Quindigalle **INFORME Nº:** 049 – 15
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 049 – 15
DIRECCIÓN: Av. El Rey y Boyacá
TELÉFONO: 0998663541 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 22– 06 – 15
FECHA DE INFORME: 25 – 06 – 15

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 **Agua Residual Tratada** **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN: MA – 086 -15 **Caserío El Topo, Baños** **Agua**

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA – 086-15

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418,1	11	+/- 0,08	22 – 06 – 15
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	0,8	+/- 8 %	22 – 06 – 15
* Sólidos Sedimentables	ml/l	STANDARD METHODS 2540 - F	0,2	N/A	22 – 06 – 15

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.

Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.



- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.
- Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

Nº SE: 054 – 15

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Srta. Martha Quindigalle **INFORME Nº:** 054 – 15
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 054 – 15
DIRECCIÓN: Av. El Rey y Boyacá
TELÉFONO: 0998663541 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 01-07-15
FECHA DE INFORME: 03-07-15

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua Residual Tratada **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN: MA – 092 -15 Caserío El Topo, Baños Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA – 092-15

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418.1	9	N/A	01-07-15
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	0,9	N/A	01-07-15
* Sólidos Sedimentables	ml/l	STANDARD METHODS 2540 - F	0,2	N/A	01-07-15

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.

Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.



-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

Nº SE: 065 – 15

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Srta. Martha Quindigalle
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH
DIRECCIÓN: Av. El Rey y Boyacá

INFORME Nº: 065 – 15
Nº SE: 065 – 15

TELÉFONO: 0998663541

FECHA DE RECEPCIÓN: 06-08-15
FECHA DE INFORME: 11-08-15

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua Residual Tratada
IDENTIFICACIÓN: MA – 106 -15 Caserío El Topo, Baños
TIPO DE MUESTRA: Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA – 106-15

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	0,6	N/A	06-08-15

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.


Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

ESPOCH

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Martha Quindigalle

Fecha de Análisis: 5 de agosto del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 11 de agosto del 2015

Tipo de muestras: Agua Residual doméstica. Muestra compuesta

Localidad: Caserío El Topo Parroquia Río Negro Cantón Baños

TRABAJO DE TESIS

Código LAT/052-15

El agua residual tratada muestra 1:

Clarificación; Policloruro de aluminio

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	7.06
Turbiedad	UNT	2130-B		4.9
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	250	33
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	18

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULAS TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

ESPOCH

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Martha Quindigalle

Fecha de Análisis: 5 de agosto del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 11 de agosto del 2015

Tipo de muestras: Agua Residual doméstica. Muestra compuesta

Localidad: Caserío El Topo Parroquia Río Negro Cantón Baños

TRABAJO DE TESIS

Código LAT/052-15

El agua residual tratada muestra 2:

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	7.06
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	250	75
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	33

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULAS TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

Anexo I. Planos del sistema de tratamiento

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUAES EN EL CASERIO EL TOPO, PARROQUIA RÍO NEGRO, CANTÓN BAÑOS DE AGUA SANTA”

UBICACION

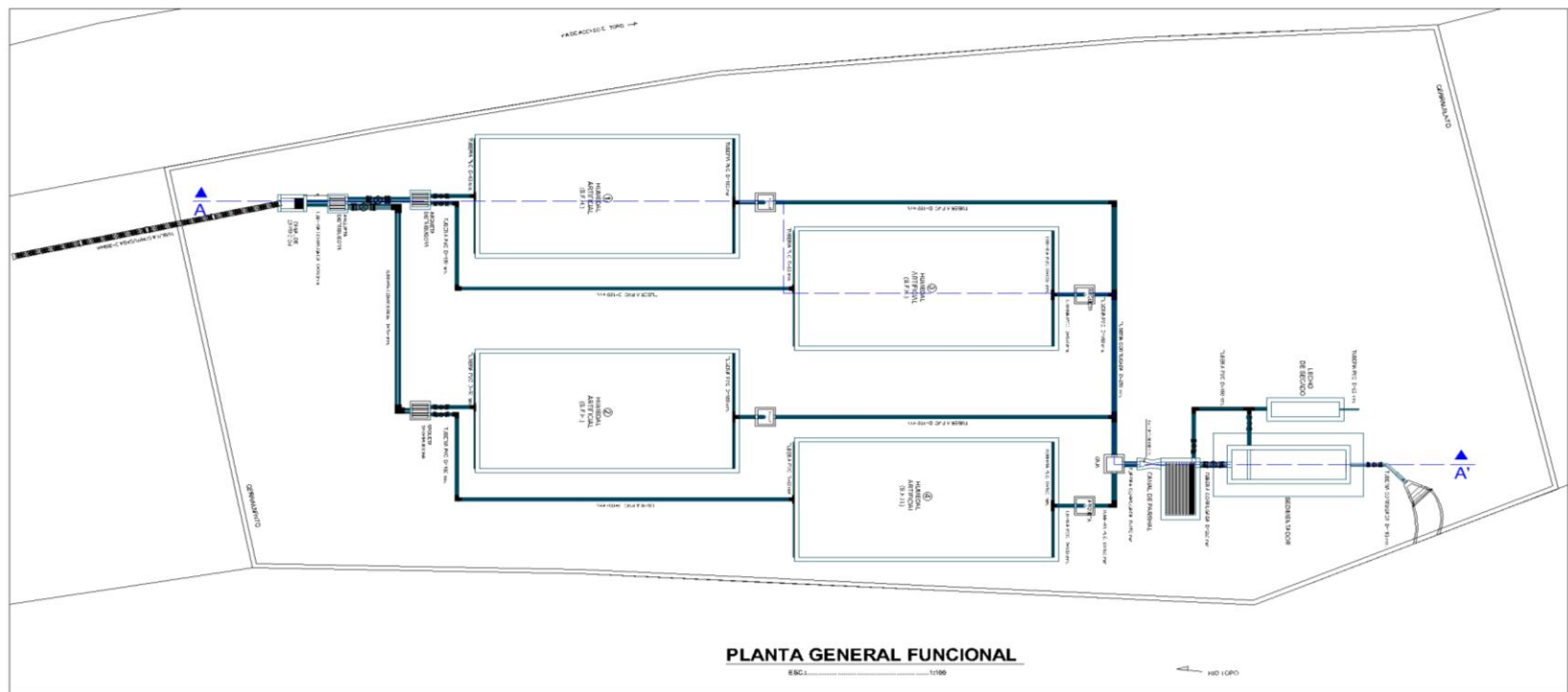
La población del Caserio El Topo se encuentra a 23 km de la Ciudad de Baños de Agua Santa en la vía que conduce a la ciudad del Puyo, capital de la provincia de Pastaza.

ÁREA DEL TERRENO: 1.390,80 m²

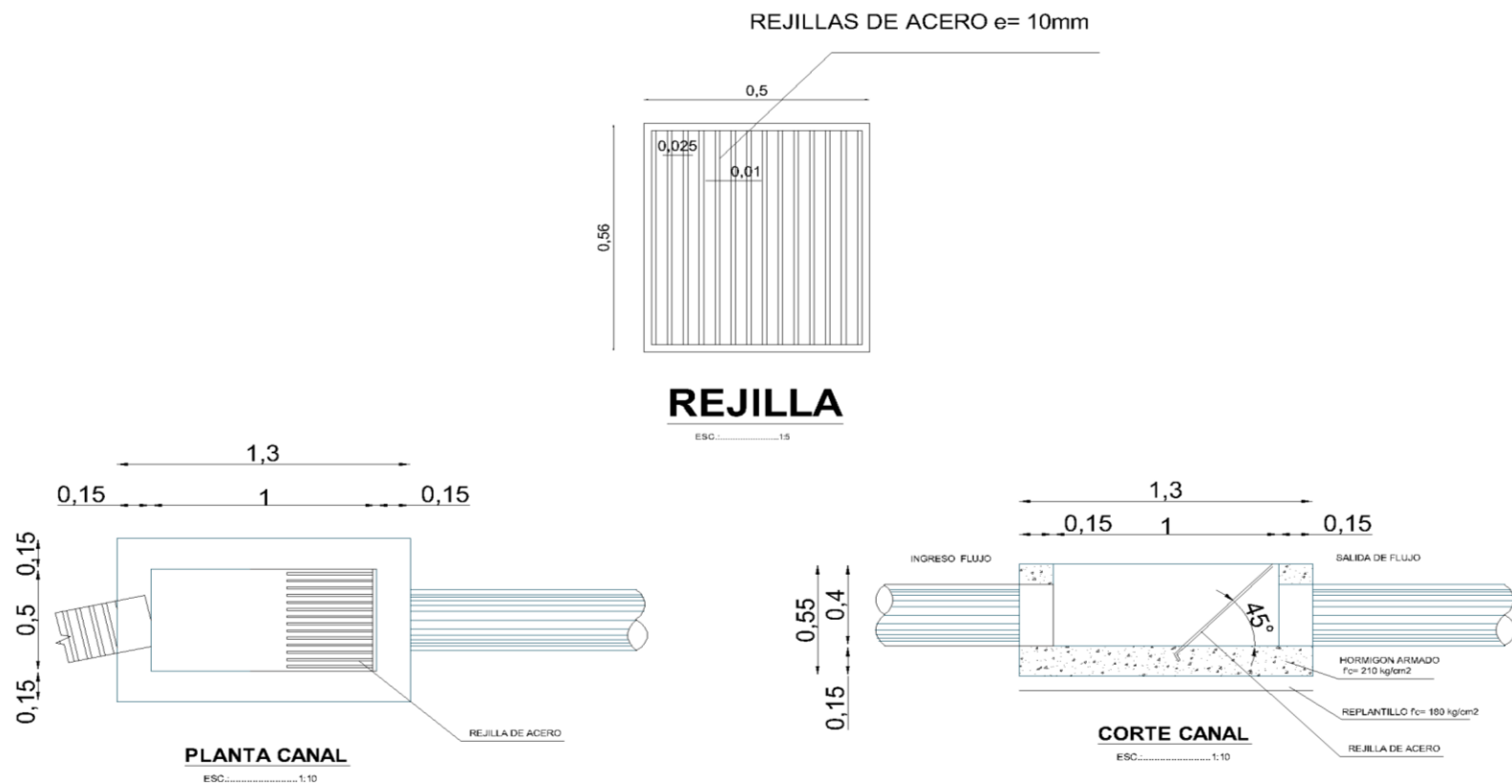
UBICACION GENERAL DEL PROYECTO

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	VISTA GENERAL DEL SISTEMA		
DATOS GENERALES	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS	Láminas	Escala	Fecha
UBICACION GENERAL	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Informacion	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	1/8	LAS INDICADAS	2015-11-09
		MARTHA FABIOLA QUINDIGALLE QUINDIGALLE			

NOTAS	<div>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</div> <div><div><input type="checkbox"/> Certificado</div><div><input checked="" type="checkbox"/> Aprobado</div><div><input type="checkbox"/> Por Calificar</div><div><input type="checkbox"/> Por Eliminar</div><div><input type="checkbox"/> Por Aprobar</div><div><input type="checkbox"/> Para Informacion</div></div>	<div>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</div> <div>FACULTAD DE CIENCIAS</div> <div>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</div> <div>MARTHA FABIOLA QUINDIGALLE QUINDIGALLE</div>	VISTA GENERAL DEL SISTEMA		
DATOS GENERALES			Láminas	Escala	Fecha
UBICACION GENERAL			1/8	LAS INDICADAS	2015-11-09



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	VISTA GENERAL DEL SISTEMA		
PLANTA GENERAL FUNCIONAL CORTE FUNCIONAL	<input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Para Informacion	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA MARTHA FABIOLA QUINDIGALLE QUINDIGALLE	Láminas	Escala	Fecha
			2/8	LAS INDICADAS	2015-11-09

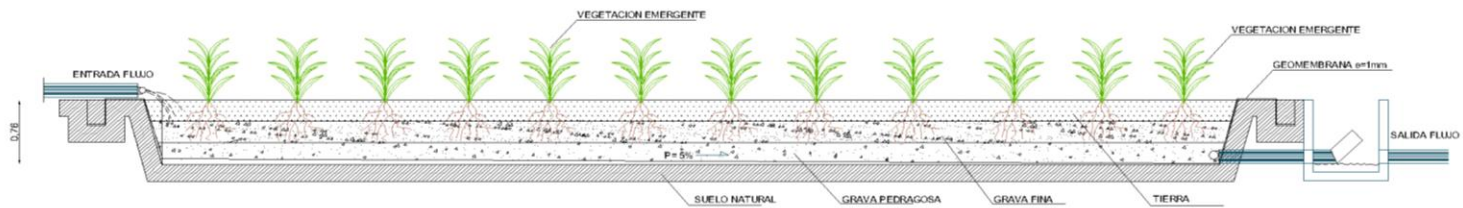


NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA MARTHA FABIOLA QUINDIGALLE QUINDIGALLE	VISTA GENERAL DEL SISTEMA		
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por Eliminar		Láminas	Escala	Fecha
	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por Aprobar		3/8	LAS INDICADAS	2015-11-09
REJILLA	<input type="checkbox"/> Por Calificar	<input type="checkbox"/> Para Informacion				
CANAL						



PLANTA HUMEDAD ARTIFICIAL

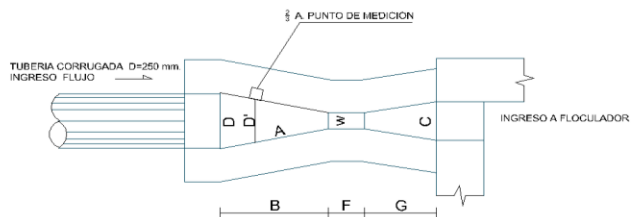
ESG. 1:25



CORTE HUMEDAD ARTIFICIAL

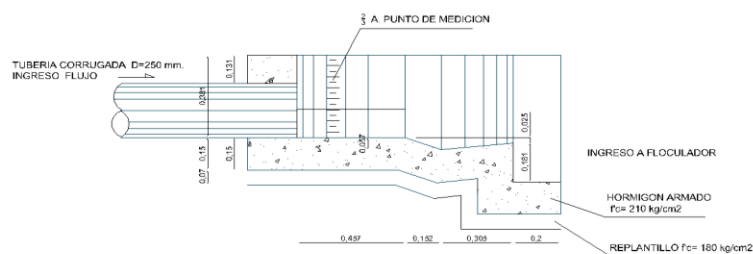
ESG. 1:25

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA MARTHA FABIOLA QUINDIGALLE QUINDIGALLE	VISTA GENERAL DEL SISTEMA		
HUMEDAD ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL	<div><div><input type="checkbox"/> Certificado</div><div><input checked="" type="checkbox"/> Aprobado</div><div><input type="checkbox"/> Por Calificar</div></div> <div><div><input type="checkbox"/> Por Eliminar</div><div><input type="checkbox"/> Por Aprobar</div><div><input type="checkbox"/> Para Informacion</div></div>			Láminas	Escala	Fecha
				4/8	LAS INDICADAS	2015-11-09



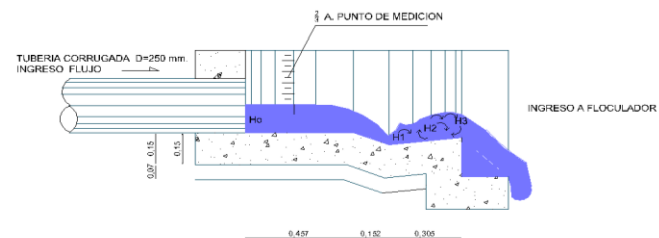
PLANTA CANAL DE PARSHALL

ESC.:.....1:100



CORTE CANAL DE PARSHALL

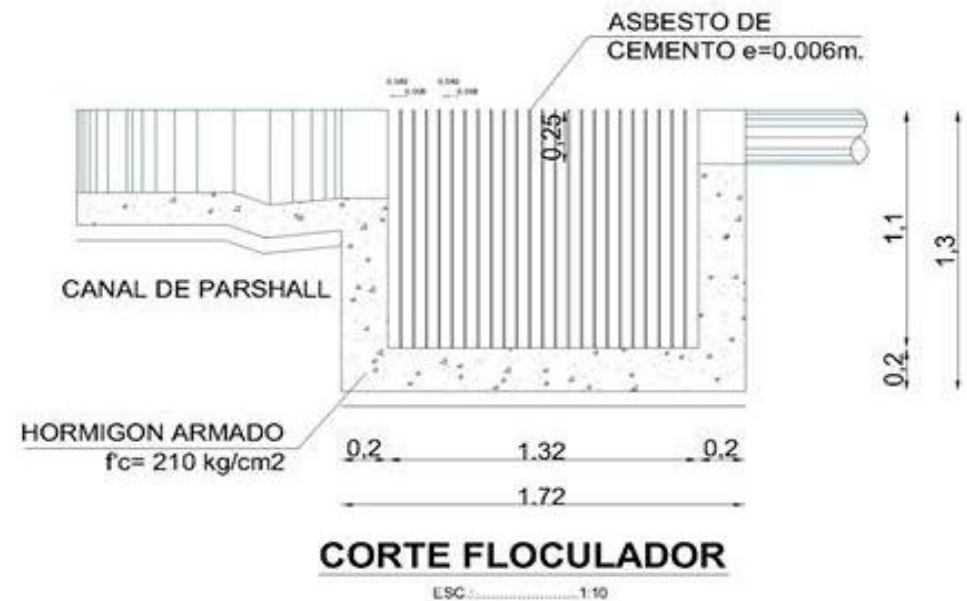
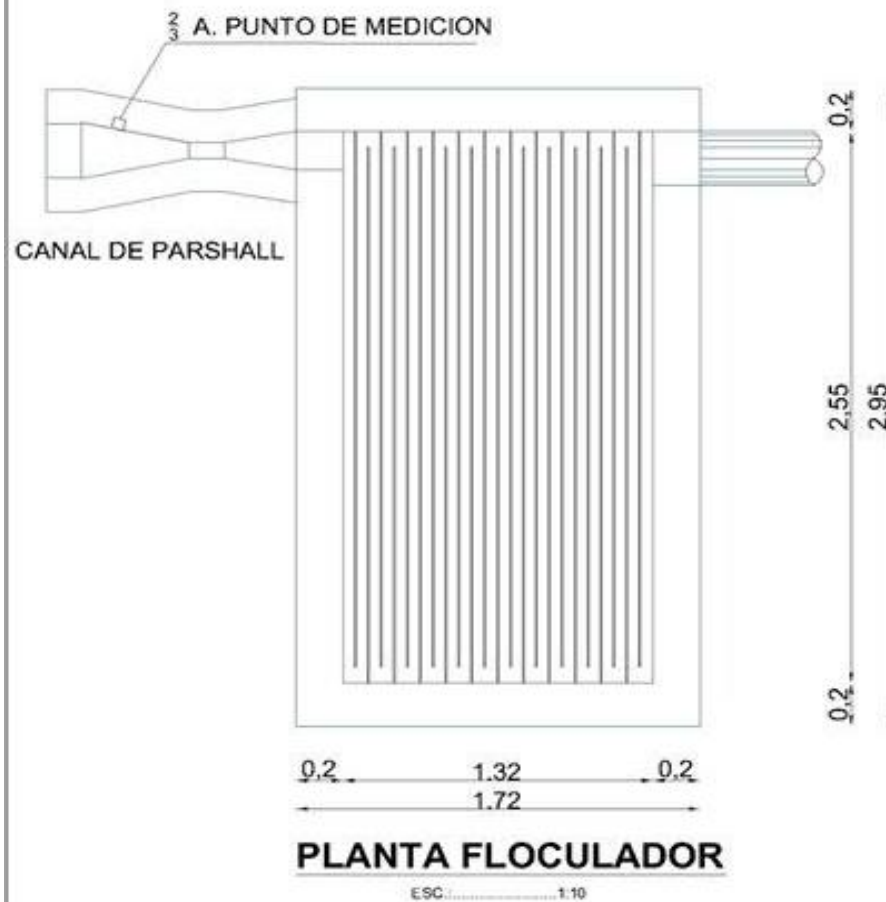
ESC.:.....1:100



CANAL DE PARSHALL FLUJO

ESC.:.....1:100

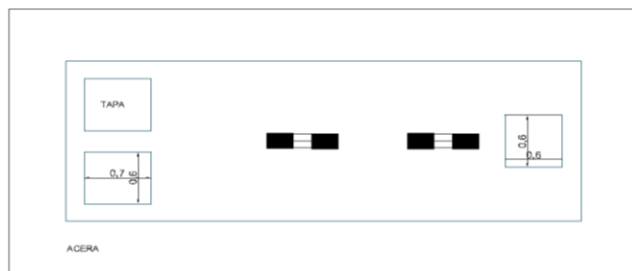
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA MARTHA FABIOLA QUINDIGALLE QUINDIGALLE	VISTA GENERAL DEL SISTEMA			
CANAL DE PARSHALL	<input type="checkbox"/> Certificado		<input type="checkbox"/> Por Eliminar	Láminas	Escala	Fecha
	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado		<input type="checkbox"/> Por Aprobar			
	<input type="checkbox"/> Por Calificar		<input type="checkbox"/> Para Informacion	5/8	LAS INDICADAS	2015-11-09



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA MARTHA FABIOLA QUINDIGALLE QUINDIGALLE	FLOCULADOR		
			Láminas	Escala	Fecha
			6/8	LAS INDICADAS	2015-11-09

PLANTA Y CORTE
FLOCULADOR

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Certificado | <input type="checkbox"/> Por Eliminar |
| <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado | <input type="checkbox"/> Por Aprobar |
| <input type="checkbox"/> Por Calificar | <input type="checkbox"/> Para Informacion |



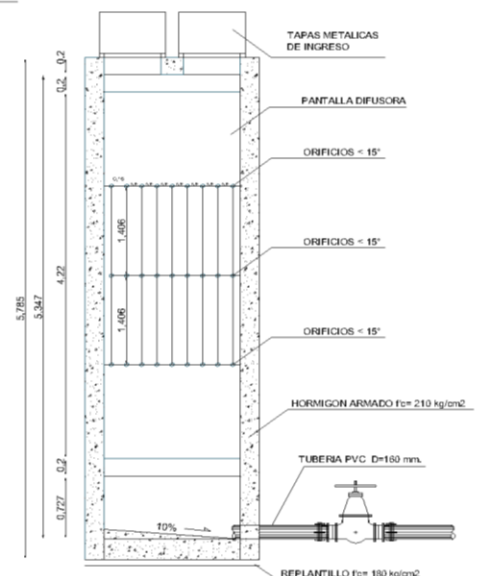
IMPLANTACION SEDIMENTADOR

ESC. 1:25



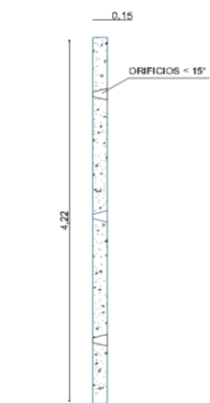
PLANTA SEDIMENTADOR

ESC. 1:25



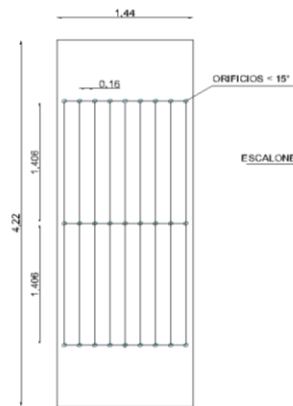
CORTE TRANSVERSAL SEDIMENTADOR

ESC. 1:25



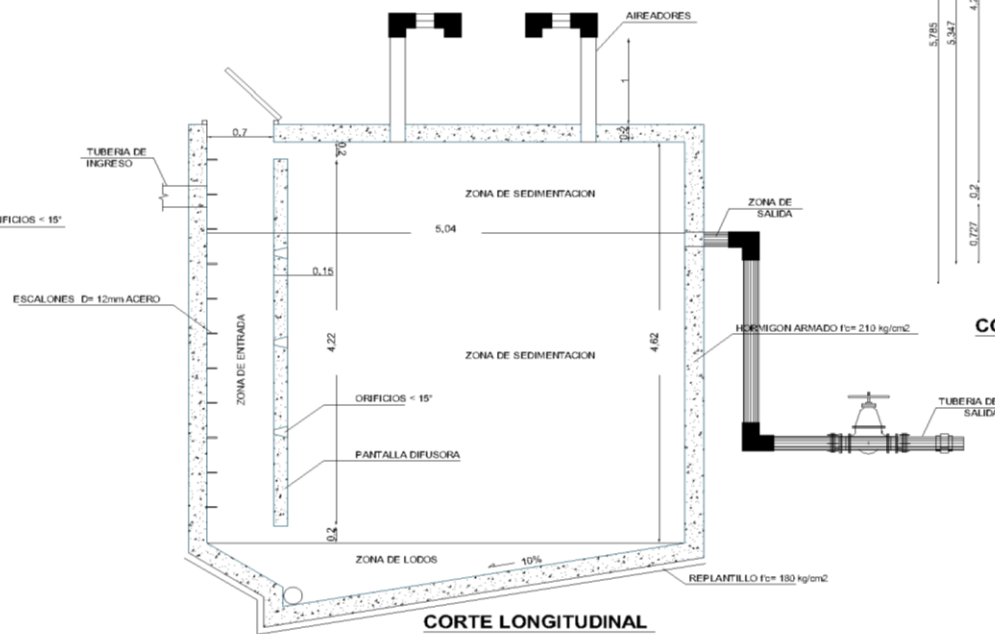
CORTE PANTALLA DIFUSORA

ESC. 1:25



VISTA PANTALLA DIFUSORA

ESC. 1:25



CORTE LONGITUDINAL SEDIMENTADOR

ESC. 1:25

NOTAS

SEDIMENTADOR

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Certificado | <input type="checkbox"/> Por Eliminar |
| <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado | <input type="checkbox"/> Por Aprobar |
| <input type="checkbox"/> Por Calificar | <input type="checkbox"/> Para Informacion |

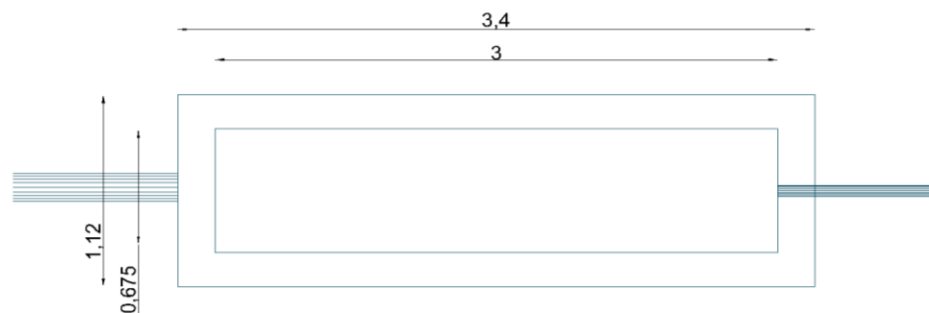
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

MARTHA FABIOLA QUINDIGALLE QUINDIGALLE

VISTA GENERAL DEL SISTEMA

Láminas	Escala	Fecha
7/8	LAS INDICADAS	2015-11-09



PLANTA LECHO DE SECADO

ESC.:.....1:50



CORTE LECHO DE SECADO

ESC.:.....1:50

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA MARTHA FABIOLA QUINDIGALLE QUINDIGALLE	VISTA GENERAL DEL SISTEMA		
			Láminas	Escala	Fecha
LECHO DE SECADO	<input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Para Informacion		8/8	LAS INDICADAS	2015-11-09

Anexos J. Operación y mantenimiento de los equipos

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL

- Puesta en marcha

El periodo de puesta en marcha no es muy crítico ya que su rendimiento no depende de la vegetación.

- Operaciones rutinarias

Los humedales artificiales asemejan a un sistema natural es por eso que las operaciones rutinarias requieren de poca intervención por parte de los operarios de mantenimiento, se debe:

- ✓ Tomar acciones cuando existan problemas de operación.
- ✓ Monitoreo de la operación cuando sea necesario.

Casos en que se presentan momentos críticos que requieren la intervención constante por parte de un operador, la cuales son:

- Ajuste de nivel de agua

La variación del nivel de agua afecta la eficiencia del humedal, el tiempo de residencia, la difusión atmosférica del oxígeno y las coberturas de las plantas. Los cambios significativos del nivel del agua puede ser por: pérdidas, salidas obstruidas, drenaje de aguas pluviales.

- Mantenimiento de uniformidad del caudal (entrada/salida)

Se debe ajustar los mecanismos de entrada y salida para conseguir el rendimiento esperado en el humedal artificial. Las medidas de control e inspección son:

- Inspección y ajuste de los colectores de entrada y salida.
- Limpieza y retiro de los desechos para evitar obstrucciones.
- Los colectores sumergidos deben ser purgados periódicamente.
- Los sólidos en suspensión deben retirados porque reducen el tiempo de detención hidráulico.

- Manejo y cuidado de la vegetación

Donde la cobertura de las plantas sea deficiente, las medidas recomendadas para mejorar este déficit sería regular el nivel del agua, cargas reducidas y aplicación de pesticidas y la replantación.

- Control de olores

Los componentes olorosos se asocian a condiciones anaeróbicas que puede ser originada por la carga excesiva de la demanda bioquímica del oxígeno (DBO5) y amoníaco. Para el control de estos olores se procede a:

- La distribución uniforme del agua
- La limpieza del humedal
- Inspeccionar obstrucciones
- Mantenimiento de las bermas o muros

Se debe realizar mantenimientos apropiados de los muros, si se presenta grietas se debe reparar y sellar para evitar pérdidas y escapes a través de estas grietas.

- Operaciones a largo plazo

Las operaciones rutinarias son esenciales para la gestión adecuada del humedal artificial, porque los problemas identificados en esta etapa sirven en un futuro para que los operarios puedan tomar las medidas correctivas necesarias.

Lista de acciones quincenales de operación y mantenimiento	
Bermas y muros	Inspección visual para identificar si hay maleza, erosión y daños
Entrada	Inspección visual para confirmar la distribución adecuada y uniforme del agua e identificar obstrucciones y daños Mantenimiento y ajuste en caso de ser necesario
Salida	Inspección visual para comprobar que no hay obstrucciones/daños y revisión visual del nivel del agua así como de la cantidad y calidad del efluente
Vegetación	Inspección visual para ver si hay maleza y comprobar la salud de las plantas o de los problemas de plagas

Lista de acciones bimensual de operación y mantenimiento	
Bermas y muros	Inspección visual para identificar si hay maleza, erosión y daños Toma de acciones de recuperación en caso de ser necesario
Salida	Revisión del funcionamiento del sistema de descarga y salida del afluente Mantenimiento y ajuste en caso de ser necesario
Vegetación	Control de malezas al momento de poner en práctica el manual con aplicación de herbicidas y/o incremento temporal del nivel de agua

Lista de acciones anuales de operación y mantenimiento	
Bermas y muros	Comprobar las obstrucciones del sustrato, extraerlos y limpiarlos y sustituirlos en caso de ser necesario
Entrada	Quitar las tapas de la tubería y la red de distribución (arquetas), purgar y limpiar para eliminar las obstrucciones
Salida	Quitar y limpiar las plantas alrededor de la tubería de salida para proporcionar acceso y evitar obstrucciones.
Vegetación	Cosechar vegetación y replantar si es necesario

Fuente: (Manual de Humedales Artificiales, 2008)

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL CANAL DE PARSHALL

- Función

El canal de Parshall tiene dos funciones:

- Permitir la medición del caudal.
- Determinar el caudal circulante de forma fácil y rápida.
- Permitir la dosificación de químicos (coagulante, corrector de pH), aprovechando el resalto del agua en garganta.

- Operación

Las consideraciones que se toman para la operación del canal de Parshall son:

- Verificar que la dosificación se esté realizando por el inyector.
- La solución del PAC debe aplicarse en punto máximo de turbulencia.
- La velocidad de reacción de los coagulantes depende tipo del coagulante y la alcalinidad.

- Mantenimiento

- Limpiar las malezas a la entrada del aforador, en este tipo de estructura suele acumularse la maleza en especial en las paredes y en el fondo.
- Realizar la inspección semanal por lo que el equipo se encontrará en zona húmedo-cálida y boscosa.
- Mantener el control adecuado dejando pasar únicamente el flujo para el cual se diseñaron evitando así el asolvamiento de arenas y partículas sólidas.
- Observar paredes de la garganta del canal, y si hay daños se deberá reparar con el cuidado de no modificar las dimensiones del diseño, para que funcione como en su principio.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL FLOCULADOR

- Función

El proceso de floculación se desarrolla a medida que el agua atraviesa cada una de las pantallas o canales (de asbesto y cemento) de los floculadores, para la formación de flóculos que se sedimentarán luego que pase a otro sistema o equipo.

- Operación

Las consideraciones que se toman para correcta operación del canal de Parshall son:

- Verificar que la dosificación y mezcla rápida estén operando sin problemas.
- Es necesario que el nivel del agua no varíe.
- Determinar la turbiedad del agua residual y comparar con los parámetros ya obtenidos por medio de una prueba de jarra, además se debe observar los flóculos a la salida del floculador.

- Mantenimiento

Por sus características y funciones hidráulicas el floculador requiere de un mantenimiento específico:

- Verificar que las válvulas que conforman el sistema de entrada y de salida de la estructura estén en un buen estado físico, para lo cual se realizará chequeos periódicos.
- De las válvulas de purga de lodos de los floculadores deben permanecer cerradas y las de ingreso a los sedimentadores deben estar abiertas para que se lleve a cabo el proceso de clarificación
- Realizar una limpieza de las paredes y de la estructura en general a medida que se vayan formando los lodos para lo cual se cierran todas las válvulas de entrada y salida, solo estará abierto la válvula de paso hacia el lecho de secado.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SEDIMENTADOR

- Función

El sedimentador tiene como función clarificar y sedimentar los flóculos formados en el agua proveniente del proceso de floculación.

- Operación

Las consideraciones que se toman para correcta operación en el sedimentador son:

- Las etapas de coagulación y floculación deben realizarse correctamente.
- Distribución adecuada del caudal.
- Minimizar los cambios bruscos de caudal o flujo (Pantalla difusora)

- Mantenimiento

Las consideraciones que se toman para la operación del canal de Parshall son:

- Revisión y limpieza del sedimentador.
- Identificar posibles o indicios de ruptura en la estructura, y de ser así sellar para continuar con la operación.
- Determinar la turbiedad y el color con frecuencia.
- Remoción de lodos para esto se debe cerrar la válvula de acceso al sedimentador.
- Revisión de tuberías, accesorios y válvulas para correcta operación.